

蒸気霧化に対し空気霧化ではNO_x濃度は28～51%増加した。

4) 混合法と霧化蒸気圧力

内部混合法によるNO_x濃度を基準として、外部混合法におけるNO_x濃度の増加率を、霧化蒸気圧力1 kgf/cm²及び2 kgf/cm²について求め、表 4.5.6に示した。

表 4.5.6 内部混合法に対する外部混合法のNO_x増加率 (内部混合法を基準)

酸素濃度		内部混合法				外部混合法				内部混合方に対する外部混合法のNO _x 増加率			
		3%		5%		3%		5%		3%		5%	
霧化蒸気圧力 (kgf/cm ²)		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
NO _x 濃度 (ppm)	軽油	55	55	63	61	50	77	55	53	-9%	40%	-13%	-14%
	ガスオイル	81	83	93	93	78	117	88	83	-4%	41%	-5%	-5%

標準バーナ 160 t/h

NO_x濃度は、内部混合法に比較し、外部混合法の方が概して低いですが、蒸気圧力によっては大幅に高くなるケースもあるので、外部混合式の場合は、適正な蒸気圧で霧化する必要がある。

4.5.2 省エネルギー対策とその効果

(1) ボイラーの省エネルギー対策

一般的に、燃焼により発生した熱は、その全てが有効に利用されるわけではなく、一部の熱は利用されずに放出される。この利用にあずからない損失熱を、できるだけ少なくすることが、熱の省エネルギーである。

ボイラーの場合、熱を有効に利用するための構造を有しているため、他の燃焼装置と比較すると、熱効率(有効熱/供給熱)は高く、炉筒煙管ボイラーの場合、5 t/h未満で82～88%、5～20 t/hで87～90%の熱効率(ボイラー効率)が得られる。このように、ボイラーはその熱効率が高いため、省エネルギーの手法は限定される。以下に、普及している対策実施例を示す。

1) 設備面での対策

- ・ 排ガスの保有熱の回収
 - エコノマイザー
 - 空気予熱器

- ・ブロー水の保有熱の回収
熱回収型ブロー装置

2) 燃焼技術面での対策

- ・燃料の完全燃焼
- ・適正低空気比燃焼
- ・適正ボイラー負荷燃焼

3) ボイラーメンテナンス面での対策

- ・水側伝熱面に付着するスケールの除去
- ・ガス側伝熱面に付着するススの除去

本実験プラントにおいて採用された設備面での対策は、エコノマイザ、空気予熱器、熱回収型ブロー装置である。

(2) 熱勘定

省エネルギー対策を実施するうえで、熱の流れを正確に把握し、熱の出入を計算し、対策の効果を明確化する必要がある。この熱収支の計算を、熱勘定又は熱精算という。本調査では、以下に示すパラメータについて、熱勘定を行った。

- a) 排ガス中の残存酸素濃度
- b) エコノマイザによる排熱回収
- c) ボイラー負荷（燃料消費量）

1) 熱勘定の方法

熱勘定は、J I S (B8222) を基準に、以下の条件で実施した。

i) 熱勘定の範囲

熱勘定の範囲を、図 4.5.15 に示す。試験ボイラーにおける入熱、出熱、循環熱は、次のとおりである。

a) 入熱

- ・燃料の発熱
- ・燃料の顕熱
- ・燃焼用空気の顕熱
- ・給水の顕熱

b) 出熱

- ・発生蒸気の保有熱
- ・排ガスによる損失熱
- ・不完全燃焼による損失熱
- ・放射等による損失熱

c) 循環熱

- ・アトマイズ蒸気の保有熱
- ・エコノマイザによる回収熱

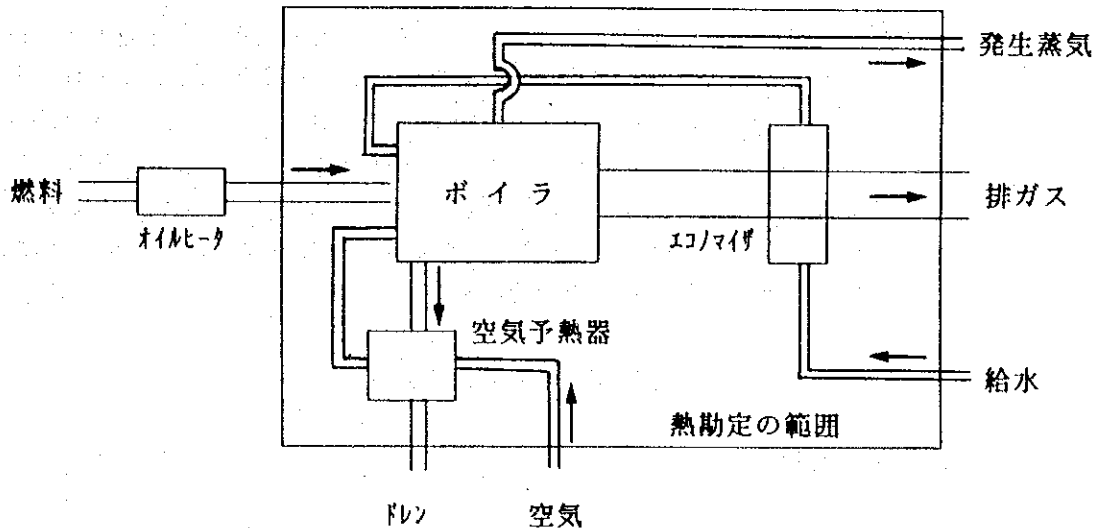


図 4.5.15 熱勘定の範囲

ii) 熱勘定の単位

度量衡単位は、近年国際単位系 (S I) が普及し、熱勘定で頻繁に使用される圧力、熱量は、それぞれ [Pa]、[J] が用いられることとなった。しかし、国によって実情は異なるが、単位系の移行期であることも考慮し、ここでは非 S I 系単位を基本に用いることとした ($1 \text{ kcal} = 4.187 \text{ kJ}$, $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.81 \times 10^4 \text{ Pa}$)。一方、熱勘定を求める基準単位として、燃料の単位量 [kg-燃料] (kg-fuel と記す) や製品の単位量 [kg-原料] が用いられるが、ここでは燃料 1 kg 当りの熱量の収支を求めた。

iii) 熱勘定の計算

a) 基準条件

- ・基準温度：外気温度
- ・大気圧力：現地地上気圧
- ・試験時間：1 時間以上

b) 入熱の計算

a. 燃料の熱量

- ・燃料の発熱量：IMP により測定された低位発熱量を用いた。

・燃料の顕熱

$$(\text{燃料の顕熱}) = (\text{燃料の平均比熱}) \times \{ (\text{燃料の温度}) - (\text{基準温度}) \}$$

・燃料の平均比熱： 0.48 kcal/kg・℃

b. 空気の顕熱

$$(\text{空気の顕熱}) = (\text{空気量}) \times (\text{空気の平均比熱}) \times \{ (\text{空気の温度}) - (\text{基準温度}) \}$$

このボイラーは、空気予熱器を備えているが、自己発生蒸気を熱源として使用しているため、循環熱として取扱った。通常、空気予熱を行わない場合は、燃焼用空気温度は基準温度とし、顕熱はゼロとするが、本ボイラーでは、押し込み送風機による空気温度の上昇がみられたので、顕熱を計上した。なお、乾燥空気の平均比熱は0.31 kcal/(m³N・℃)とし、空気中の水分は無視した。ここで用いた空気量は、前述のとおり、燃料 1 kg 当りの燃焼に要する空気量のことで、実際には理論空気量に完全燃焼のための空気比を乗じる。

$$(\text{実際空気量}) = (\text{理論空気量}) \times (\text{空気比})$$

c. 給水の顕熱

$$\begin{aligned} (\text{給水の顕熱}) &= (\text{給水量}) \times (\text{給水の平均比熱}) \times \{ (\text{給水温度}) - (\text{基準温度}) \} \\ &= (\text{給水量}) \times \{ (\text{給水のエンタルピー}) - (\text{基準温度の水のエンタルピー}) \} \end{aligned}$$

d. アトマイズ蒸気の熱量

液体燃料をアトマイズするために蒸気を使用されるが、この蒸気はボイラーで発生する一部を使用するので、水蒸気の保有する熱量は循環熱となる。このため、熱勘定では入熱として計上しない。しかし、排ガスとして系外へ出るので、出熱側では顕熱と潜熱を計上する。

c) 出熱の計算

a. 発生蒸気の保有する熱量

$$(\text{飽和蒸気の熱量}) = (\text{発生蒸気量}) \times \{ (\text{発生飽和蒸気のエンタルピー}) - (\text{基準温度の水のエンタルピー}) \}$$

なお、蒸気発生量は給水量と同一値とし、蒸気の乾き度は 98 %、霧化蒸気の消費量は 0.15 kg/kg-fuelとした。

b. 排ガスによる損失熱量

燃焼排ガスによる損失熱は、乾き燃焼排ガスの保有熱と燃焼排ガス中の水蒸気の保有熱に分けて計算される。ここで用いた乾き燃焼排ガス量は、IMPが実施した燃料の成分分析結果に基づいて計算した。

・ 乾き燃焼排ガスの保有熱

(乾き燃焼排ガスの保有熱) = (乾き燃焼排ガス量) × (乾き燃焼排ガスの平均比熱)
× {(燃焼排ガス温度) - (基準温度)}

$$A_0 = \frac{22.4}{0.210} \left\{ \frac{c}{12} + \frac{1}{4} \left(h - \frac{0}{8} \right) + \frac{s}{32} \right\}$$

$$G' = (m - 0.21)A_0 + 22.4 \left(\frac{c}{12} + \frac{s}{32} + \frac{n}{28} \right) \quad [m^3N/kg-fuel]$$

$$m = \frac{(N_2)}{(N_2) - \frac{0.79}{0.21}(O_2)}$$

ここに、 A_0 : 理論空気量 [$m^3N/kg-fuel$]
 G' : 乾き排ガス量 [$m^3N/kg-fuel$]
 m : 空気比 (実際空気量/理論空気量)
 c, h, o, s, n, w : 燃料中の元素の質量割合
 乾き排ガスの平均比熱 : 0.33 kcal/($m^3N \cdot ^\circ C$)

c. 燃焼排ガス中の水蒸気の保有熱

ここでは、燃料中の水素及び水分の顕熱、燃料のアトマイズのための蒸気の顕熱と潜熱を計上する。

(排ガス中の水蒸気の保有熱)

$$= (\text{アトマイズ蒸気量}) \times (\text{水蒸気の平均比熱}) \times \{(\text{排ガス温度}) - (\text{基準温度})\} +$$

$$(\text{アトマイズ蒸気量}) \times (\text{蒸発潜熱}) +$$

$$(\text{燃料に由来する水分}) \times (\text{水蒸気の平均比熱}) \times \{(\text{排ガス温度}) - (\text{基準温度})\}$$

燃料に由来する水分量 : $9h + w$ [kg/kg-fuel]

アトマイズ蒸気量 : 0.15 [kg/kg-fuel]

水蒸気の平均比熱 : 0.45 kcal/kg $\cdot^\circ C$

蒸発潜熱 : 600 kcal/kg

d. 放射による損失熱

ボイラー表面やバルブなどから放射する損失熱は、直接計測することは困難であるので、JISでは燃料発熱量に放射熱損失率を乗じて求めると規定している。ボイラー負荷が5 t/hのときの損失熱は2.0%とし、その他の損失熱は、計測誤差とみなす。

e. その他

熱勘定の測定中に、ボイラー水のブローは行わないので、ブロー水による損失は計上しない。

2) 熱勘定の結果

熱勘定の例を以下に示す。

なお、省エネルギー機器としてエコノマイザを使用した。

使用燃料	:	ガスオイル
燃料成分 (質量%)	:	C : 85.59 S : 1.57 SG : 0.886 H : 12.56 N : 0.25 O : 0.1 H ₂ O : 0.2
燃料の発熱量	:	10,087.0 kcal/kg
燃料の消費量	:	159.2 l/h = 141.1 kg/h
燃料の温度	:	24 ℃
基準温度 (外気温)	:	27 ℃
大気圧	:	574 mmHg
燃焼用空気温度	:	36 ℃
給水量	:	2,146.0 l/h
給水温度	:	エコノマイザ入口 34 ℃ エコノマイザ出口 48 ℃
発生蒸気 ゲージ圧	:	7.0 kgf/cm ²
蒸気乾き度	:	0.98
燃料噴霧蒸気量	:	0.15 kg/kg-fuel
燃焼排ガス温度	:	102℃ (エコノマイザ出口温度) 236℃ (エコノマイザ入口温度)
乾き排ガス組成	:	CO ₂ : 13.2% CO : 0.0% O ₂ : 3.0% N ₂ : 83.8%

表 4.5.7 に熱勘定表を、図 4.5.16 に熱勘定図を示した。

表 4.5.7 熱勘定表

入熱	kcal/kg-fuel	%	出熱 (有効出熱)	kcal/kg-fuel	%
燃料の発熱量	10,087.0	98.7	発生蒸気の保有熱		
燃料の顕熱	- 1.4	0.0	ボイラー本体で吸収	9,192.9	89.8
燃焼用空気の顕熱	35.7	0.3	エコノマイザで吸収	211.4	2.1
給水の顕熱	106.4	1.0	合計	9,404.3	91.9
合計	10,227.7	100.0			

循環熱	kcal/kg-fuel	出熱 (熱損失)	kcal/kg-fuel	%
給水に吸収された熱	212.8	乾燥排ガスの保有熱	299.5	2.9
噴霧蒸気の顕熱	93.4	燃料から発生した水蒸気	38.9	0.4
		噴霧蒸気の保有熱	95.1	0.9
		その他の損失熱	390.7	3.9
		合計	824.2	8.1

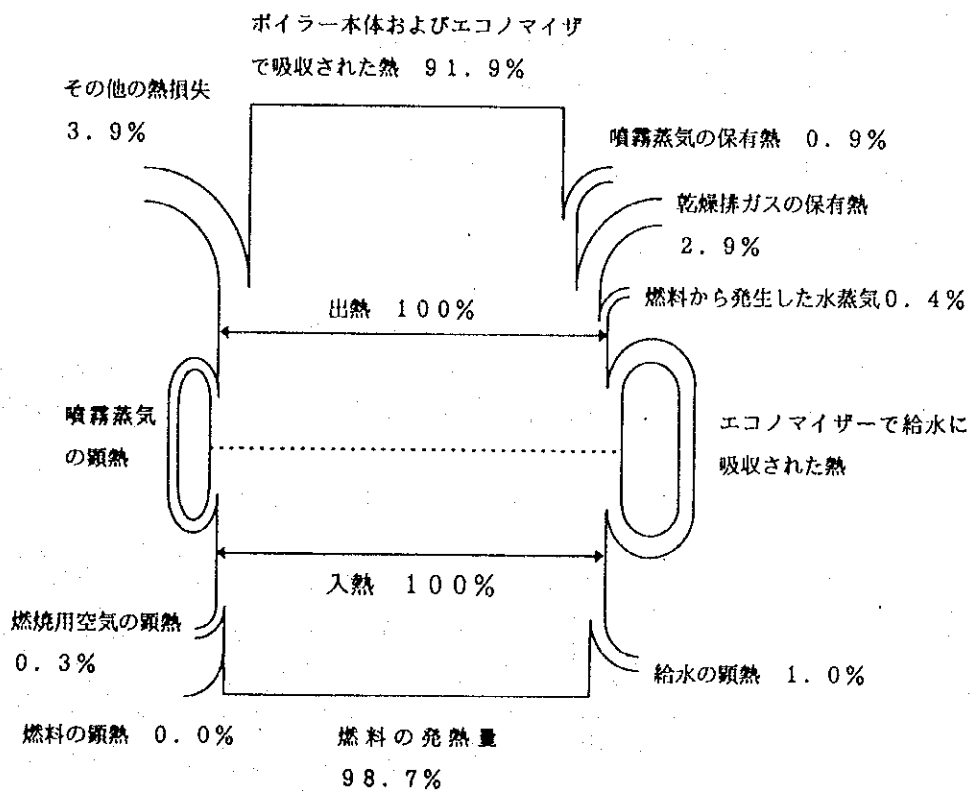


図 4.5.16 ボイラーの熱勘定

この結果より、

$$\begin{aligned} \text{入出熱法によるボイラー効率} &= \frac{\text{有効出熱}}{\text{入熱合計}} \times 100 \\ &= \frac{9,404.3}{10,227.7} \times 100 = 91.9\% \end{aligned}$$

$$\text{熱損失法によるボイラー効率} = \left(1 - \frac{\text{熱損失合計}}{\text{入熱合計}} \right) \times 100$$

熱損失合計 = 排ガスの保有熱（水蒸気を含む）+ 噴霧蒸気の保有熱
+ 放散熱 + その他の熱損失

このうち、放散熱及びその他の熱損失をJISに基づいて2%とすると、

$$\text{ボイラー効率は} \left(1 - \frac{(338.4 + 95.1 + 204.6)}{10,227.7} \right) \times 100 = 93.8\%$$

まとめると、

入出熱法によるボイラー効率 91.9 %
熱損失法によるボイラー効率 93.8 %

となる。両者の差は、計測誤差によるものと推察される。

(3) 省エネルギー対策の効果

1) ボイラー負荷と酸素濃度のボイラー効率への影響

ボイラー負荷及び排ガス中の酸素濃度のボイラー効率への影響を調べた。表 4.5.8 にその結果を示す。また、図4.5.17にボイラー負荷とボイラー効率の関係を示す。

表 4.5.8 パラメータ別のボイラー効率

ボイラー負荷率		50 %		67 %		83 %	
燃料負荷	ℓ/h	121.2	121.2	162.1	160.5	200.2	201.7
酸素濃度	%	2.0	7.0	1.5	7.0	1.2	7.0
排ガス温度	℃	220	235	243	258	262	281
ボイラー効率	%	88.6	84.6	85.0	82.4	83.8	82.0

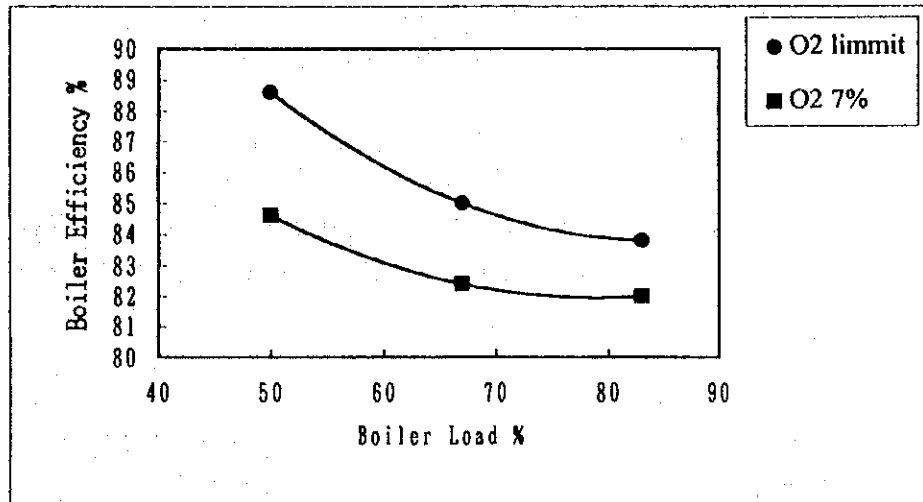


図 4.5.17 ボイラー負荷とボイラー効率の関係

ボイラー負荷を上げるほどボイラー効率は下がる傾向にある。負荷が高い程排ガス温度が高いことに起因している。

また、排ガス中の酸素濃度によりボイラー効率に、2~4%の差が出ており、排ガス中の酸素濃度を低く抑えることが、省エネルギー対策として有効である。

供試ボイラーは、ターンダウン比を5:1としているので、最低負荷は約20%であり、この領域での燃焼は、低空気比燃焼を行うことは困難であるため、ボイラー効率は低下傾向となる。

2) 空気比の改善

燃料負荷を160 l/h、年間のボイラー稼働時間を4,500時間とすると、ボイラー効率を空気比の改善により2.6%向上させることにより、一年間に18,720 lの燃料を削減することができる。ガスオイル及び軽油について、この空気比の改善による燃料費の削減効果とNO_xの削減効果を求めた。

i) 空気比の改善による経済的効果

ボイラー負荷	: 67 %
燃料消費量	: 160 l/h
年間ボイラー稼働時間	: 4,500時間 (約 50 %)
空気比の改善	: 1.49 から 1.07 に削減
ボイラー効率の改善率	: 2.6%
ガスオイルの価格	: 133 US\$/kℓ (1US\$=5.6 N\$, 1995年 5月現在)
軽油の価格	: 236 US\$/kℓ

年間の燃料削減量は次のとおりである。

$$160 \text{ l/h} \times 4,500 \text{ h/y} \times 0.026 = 18,720 \text{ l}$$

それぞれの燃料費削減額は、以下のとおりになる。

$$\begin{aligned} \text{ガスオイル} & : 18,720 \text{ l/年} \times 0.133 \text{ US\$/l} = 2,490 \text{ US\$/年} \\ \text{軽油} & : 18,720 \text{ l/年} \times 0.236 \text{ US\$/l} = 4,418 \text{ US\$/年} \end{aligned}$$

ii) NO_xの削減効果

使用燃料	: ガスオイル (CG: 0.886)
年間消費量	: 637,920 kg/年
空気比 1.49 のときのNO _x 濃度	: 92 ppm
空気比 1.07 のときのNO _x 濃度	: 94 ppm
空気比 1.49 のときの乾き排ガス量	: 15.7 m ³ /kg-fuel
空気比 1.07 のときの乾き排ガス量	: 11.1 m ³ /kg-fuel

上記の各空気比での年間NO_x排出量は、次のとおりである。

$$92 \text{ ppm} \times \frac{46 \text{ kg}}{22.4 \text{ m}^3} \times \frac{1}{1,000,000} \times 15.7 \text{ m}^3/\text{kg-fuel} \times 637,920 \text{ kg/y} = 1,892 \text{ kg/y}$$

$$94 \text{ ppm} \times \frac{46 \text{ kg}}{22.4 \text{ m}^3} \times \frac{1}{1,000,000} \times 11.1 \text{ m}^3/\text{kg-fuel} \times 637,920 \text{ kg/y} = 1,367 \text{ kg/y}$$

さらに、ボイラー効率向上による削減効果を考慮すると、低空気比燃焼によるNO_x削減量は以下のようになる。

$$1,892 \text{ kgNO}_x/\text{y} - 1,367 \text{ kgNO}_x/\text{y} \times (1 - 0.026) = 561 \text{ kgNO}_x/\text{y}$$

よって、NO_xの削減率は29.6%となる。

同様に、軽油の場合を求めると、以下のとおりである。

空気比 1.49 の時のNO _x 濃度	: 64 ppm
空気比 1.07 のときのNO _x 濃度	: 65 ppm
空気比 1.49 のときの年間NO _x 排出量	: 1,316 kg/y
空気比 1.07 のときの年間NO _x 排出量	: 945 kg/y

ボイラー効率の向上を考慮した時のNOx年間削減量 : 396 kg/y
NOx削減率 : 30.1 %

なお、アンケート調査によると、ZMCMの液体燃料を使用しているボイラーの燃焼排ガス中の酸素濃度は、算術平均で6.83%である。市内の現在の設備が低空気比燃焼に対応が可能であれば、相当の効果を得られるものと推察される。ただし、低空気比燃焼のためには、当然管理用計器並びに管理技術者が必要となる。

3) エコマイザによる省エネルギー効果

i) エコマイザによる燃料の削減

エコマイザにより排ガスの保有熱を回収したときの回収率を以下の条件下で求める。

エコマイザ入口温度	236℃
エコマイザ出口温度	102℃
乾き排ガス量	12.1 m ³ N/kg-fuel
乾き排ガスの比熱	0.33 kcal/(m ³ N・℃)

乾き排ガスの保有熱からの熱回収率は以下ようになる。

$$(236℃ - 102℃) \times 0.33 \text{ kcal}/(\text{m}^3\text{N} \cdot \text{℃}) \times 12.1 \text{ m}^3\text{N}/\text{kg-fuel} = 535 \text{ kcal}/\text{kg-fuel}$$

参考として排ガス中の水蒸気の保有熱を以下に計算する。

霧化蒸気及び燃料に由来する蒸気量は、

$$\begin{aligned} \text{蒸気量} &= 0.15 \text{ kg}/\text{kg-fuel} + (9 \times 0.1256 + 0.002) \text{ kg}/\text{kg-fuel} \\ &= 1.28 \text{ kg}/\text{kg-fuel} \end{aligned}$$

水蒸気の平均比熱は0.45 (kcal/kg・℃)、潜熱は600 (kcal/kg)であるから、保有熱は以下のとおりである。

$$[0.45(\text{kcal}/\text{kg} \cdot \text{℃}) \times (236℃ - 102℃) + 600 (\text{kcal}/\text{kg})] \times 1.28 \text{ kg}/\text{kg-fuel} = 845 \text{ kcal}/\text{kg-fuel}$$

この排ガス中の水蒸気の保有熱のうち、潜熱の回収率は不明であるので、以下の顕熱のみ回収できたとする。

$$0.45 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{℃}) \times (236℃ - 102℃) \times 1.28 \text{ kg}/\text{kg-fuel} = 77.2 \text{ kcal}/\text{kg-fuel}$$

乾き排ガスの保有熱からの回収との合計は、

$$531+77=608 \text{ kcal/kg-fuel}$$

入熱量は 10,228 kcal/kg-fuelであるから回収率は、

$$608 \text{ kcal/kg-fuel} / 10,228 \text{ kcal/kg} \times 100 = 5.9\%$$

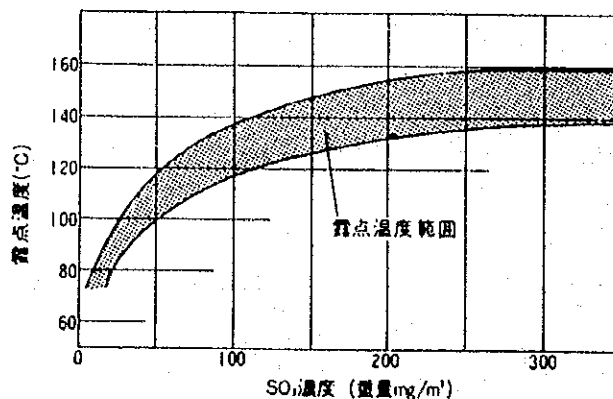
入熱の 5.9%を回収することができる。しかし、燃料中の硫黄分に起因する排ガスダクトに対する酸腐蝕を考慮する必要がある。ガスオイルの燃料中の硫黄分は 1.57 %であるから、空気比 1.07 での排ガス中の SO_2 濃度は、

$$0.0157 \text{ kg} \times \frac{22.4 \text{ m}^3}{32 \text{ kg}} \times \frac{1}{11.10} \times 1,000,000 = 990 \text{ ppm}$$

このうち 3%が SO_3 へ転換すると仮定すると、約 30 ppm の SO_3 が排ガス中に存在することになる。重量濃度に換算すると次のとおりである。

$$30 \text{ ppm} \times 80 \text{ kg} / 22.4 \text{ m}^3 = 107 \text{ mg/m}^3\text{N}$$

図 4.5.18 に示された排ガス中の SO_3 濃度と露点温度の関係から、ガスオイル燃焼の場合は、排ガス温度を 140℃以上に保つ必要があることが分かる。したがって、エコマイザ出口側の排ガスダクトに耐酸材料を使用していない場合は、出口温度を 140℃以上とするか、排ガスをバイパスダクトに通し、排ガスダクト内を 140℃以上に保つ必要がある。



出典：参考文献B 9

図 4.5.18 排ガス中の SO_3 濃度と露点温度の関係

この場合の回収熱は 439 kcal/kg-fuel となり、4.3%の排熱回収となる。一方、軽油中の硫黄分は 0.45%であるから、同様に酸露点温度を求めると 110℃となり、回収熱は 576 kcal/kg-fuel と求められる。この時の入熱を 10,300 kcal/kg-fuel とすると、熱回収率は、

$$576 \text{ kcal/kg-fuel} / 10,300 \text{ kcal/kg-fuel} \times 100 = 5.6\%$$

以上の結果から、年間の燃料削減量は次のように求められる。

ガソイルの場合

$$160 \text{ l/h} \times 4,500 \text{ h/y} \times 0.043 = 30,960 \text{ l/y}$$

軽油の場合

$$160 \text{ l/h} \times 4,500 \text{ h/y} \times 0.056 = 40,320 \text{ l/y}$$

ii) エコノマイザの経済評価

エコノマイザの導入により、以下のように燃料費の削減が可能である。

ガソイルの場合

$$30,960 \text{ l/y} \times 0.133 \text{ US\$/l} = 4,118 \text{ US\$/y}$$

軽油の場合

$$40,320 \text{ l/y} \times 0.236 \text{ US\$/l} = 9,516 \text{ US\$/y}$$

本プラントに使用したエコノマイザは、耐酸・耐熱ガラス製であるが、排ガス温度、給水温度の条件によってはステンレス製のものを使用することが可能である。日本製の参考国内価格は、耐酸・耐熱ガラス製の場合 40,000 US\$、ステンレス製の場合 15,000 US\$ である。それぞれの設備費を回収する年月を求めると以下のとおりとなる。

エコノマイザの材質	ガソイル	軽油
ガラス製	9.8年	4.2年
ステンレス製	3.7年	1.6年

(設備費は、日本における価格例で、輸送費、関税、据付け費、周辺配管ダクト費、金利は含まれていない。)

軽油を使用する場合は、ステンレス製エコノマイザの設置による燃料の節減により、1.6年で設備費の回収が可能である。

4) エアヒータの省エネルギー効果

i) エアヒータによる燃料削減効果

本プラントに設置したエアヒータは、内部熱源である発生蒸気を使用している。

燃料消費量 160 l/h (ガスオイル)
蒸気圧力 7 kgf/cm²G

のとき、空気温度はそれぞれ

エアヒータ入口 38 ℃
エアヒータ出口 143 ℃

である。このとき、回収した熱量は、空気比を 1.07 とすると以下のようになる。

燃料用空気量：11.07 m³N/kg-fuel × 1.07 = 11.84 m³N/kg-fuel
乾き空気の比熱：0.31 kcal/(m³N・℃)
空気の受熱量：11.84 × 0.31 × (143℃ - 38℃) = 385 kcal/kg-fuel

ガスオイル使用時の入熱は、10228 kcal/kg であるから熱回収率は、

$$385 / 10228 \times 100 = 3.8\%$$

同様に、軽油について求めると3.4%になる。

エアヒータの熱源を液体燃料の燃焼排ガスの保有熱から回収する場合、燃料中の硫黄分による酸腐蝕を考慮する必要があるため、排熱の回収率が低下することは否めない。燃焼排ガス温度を 236℃、燃焼用空気温度を 38℃とすると、エアヒータ出口の燃焼排ガス温度 140℃、予熱空気温度 100℃が限度と推定される。この場合の燃焼排ガス保有熱の回収率は、2.2%となる。

ii) エアヒータのNO_x濃度に対する影響

エアヒータは、燃焼排ガスの保有熱を回収できる反面、燃焼用空気温度の上昇により、NO_x濃度に影響を与える。図 4.4.5 に示した予熱空気温度とNO_x濃度の関係を表 4.5.9 にも示す。これらの結果から、常温 (36~37℃) から 100℃に予熱した場合のNO_x濃度を比較すると、ガスオイルの場合 10.4%、軽油の場合 14.9%それぞれ増加することがわかる。

表 4.5.9 予熱空気温度とNO_x濃度の関係

(単位 ppm)

軽油		ガスオイル	
空気温度	NO _x 濃度	空気温度	NO _x 濃度
37	67	36	96
51	69	68	99
93	75	101	107
136	80	136	110

年間のNO_x排出量を次の条件で求める。

燃料消費量	:	160 t/h	
排ガス中の酸素濃度	:	1.5%	
燃焼用空気温度	:	ガスオイル	: 36℃
		軽油	: 37℃
NO _x 濃度 (5%O ₂)	:	ガスオイルの場合	: 96ppm
		軽油の場合	: 67ppm

年間のNO_x排出量は、次のとおりである。

ガスオイルの場合

$$96 \text{ ppm} \times \frac{46 \text{ kg}}{22.4 \text{ m}^3} \times \frac{1}{1,000,000} \times 11.1 \text{ Nm}^3/\text{kg-fuel} \times 637,920 \text{ kg/y} = 1,396 \text{ kg/y}$$

軽油の場合

$$67 \text{ ppm} \times \frac{46 \text{ kg}}{22.4 \text{ m}^3} \times \frac{1}{1,000,000} \times 11.3 \text{ Nm}^3/\text{kg-fuel} \times 608,760 \text{ kg/y} = 947 \text{ kg/y}$$

エアヒータを用いて、約 100℃に空気を予熱した場合のNO_x排出量は、省エネルギー効果を考慮すると、次のとおりであり、年間のNO_x排出量は、それぞれ 6.2%、11.0%増加する。

ガスオイルの場合

$$1,396 \text{ kg-NO}_x/\text{y} \times 1.104 \times (1 - 0.038) = 1,483 \text{ kg/y}$$

軽油の場合

$$947 \text{ kg-NO}_x/\text{y} \times 1.149 \times (1 - 0.034) = 1,051 \text{ kg/y}$$

iii) エアヒータの経済評価

エアヒータにより燃焼排ガスの保有熱を回収した場合の燃料費の削減額は、ガスオイルの場合 2,107 US\$/年、軽油の場合 3,738 US\$/年である。一方、日本製のエアヒータの参考価格は 24,000 US\$ であるから、設備投資の回収に要する期間は、ガスオイルの場合で11.4年、軽油の場合で6.4年と見こまれるため経済性に乏しい。

5) フロー水からの熱回収

本プラントのボイラーには、フロー水からの熱回収装置が取り付けられている。フロー装置は、ボイラー内の不純物濃度を下げる目的で、給水ポンプが動作した時に一定量のボイラー水を排出する装置であり、排水のもつ保有熱を熱回収装置により回収し、給水を予熱する。

以下の条件で、この装置の省エネルギー効果と経済効果を計算した。

燃料消費量	142 kg/h
給水量	2,146 l/h
給水温度	20 °C
フロー量	322 l/h (15%)
蒸気圧力	7 kg/cm ² G
蒸気温度	168.4 °C
蒸気のエンタルピ	166 kcal/kg
フロー装置 出口温度	73 °C

フロー水の放熱量、すなわち給水の回収熱量は、

$$322 \text{ l/h} \times (166 \text{ kcal/kg} - 73 \text{ kcal/kg}) \times 1 \text{ kg/l} = 29,981 \text{ kcal/h}$$

ガスオイルの燃料消費量は 142 kg/h であるので

$$29,981 \text{ kcal/h} / 142 \text{ kg/h} = 211 \text{ kcal/kg-fuel}$$

燃料 1 kg 当りの発熱量は 10,087 kcal/kg であるから、

$$211 \text{ kcal/kg-fuel} / 10,087 \text{ kcal/kg} \times 100 = 2.20 \%$$

同様に軽油について求めると、2.18 % となる。

年間の燃料削減量及び削減額は、次のとおりである。

ガスオイルの場合	15,840 l/y	2,107 US\$/y
軽油の場合	15,696 l/y	3,704 US\$/y

熱回収型フロー装置の日本国内の参考価格は 7,000 US\$ であるから、

$$7,000 \text{ US\$} / 3,704 \text{ US\$/y} = 1.89 \text{ 年 (軽油の場合)}$$

となり、1.9 年で装置費は回収できる。

4.6 バーナの改造

(1) 改造の目的

燃焼試験の結果、燃料中のN分が増加すると、排ガス再循環による低NO_x化燃焼では十分な効果が得られないことが明確となり、高N分の燃料には低NO_xバーナの必要性が高い。しかし、低NO_xバーナは価格が高いため、中小規模企業にとっては所有するボイラー用にこれを導入することは、資金面から容易ではないと考えられる。

そこで、既存バーナを低NO_xバーナに改造する手法を検討し、その効果を確認するための試験を行った。低NO_xバーナのうち、自己再循環方式は、炉筒内で排ガス再循環及び還元燃焼をするため、フューエルNに対し効果的であり、しかも、改造が容易であるためこの方式に、標準型バーナを改造することとした。

(2) 改造の考え方

標準型バーナの基本的構造を損わずに、還元雰囲気燃焼をさせるための自己再循環機能を付加する目的で、次のような構造になるように改造した。

- 1) 燃焼用空気を1次と2次に分割し、それぞれ空気量を制御可能にする。
- 2) 1次空気口をしほることにより、ベンチュリ効果を生じさせ、排ガスの一部を循環させる構造にする。
- 3) 排ガス再循環による不完全燃焼を補うため、2次空気を火炎中に導入できる構造とする（2段燃焼の原理）。

標準型バーナと改造バーナの構造を 図 4.6.1、図 4.6.2 に示す。

(3) 改造の方法

標準型バーナの改造に伴う作業は以下のとおりである。

- 1) バーナタイルの一部撤去
- 2) 2次空気用ダクト並びに空気口の取付
- 3) 1次と2次空気を分離するための隔壁の取付
- 4) 1次空気用ノズルの取付
- 5) 2次空気用ノズルの取付
- 6) 保炎器の形状変更
- 7) 自己再循環装置の取付

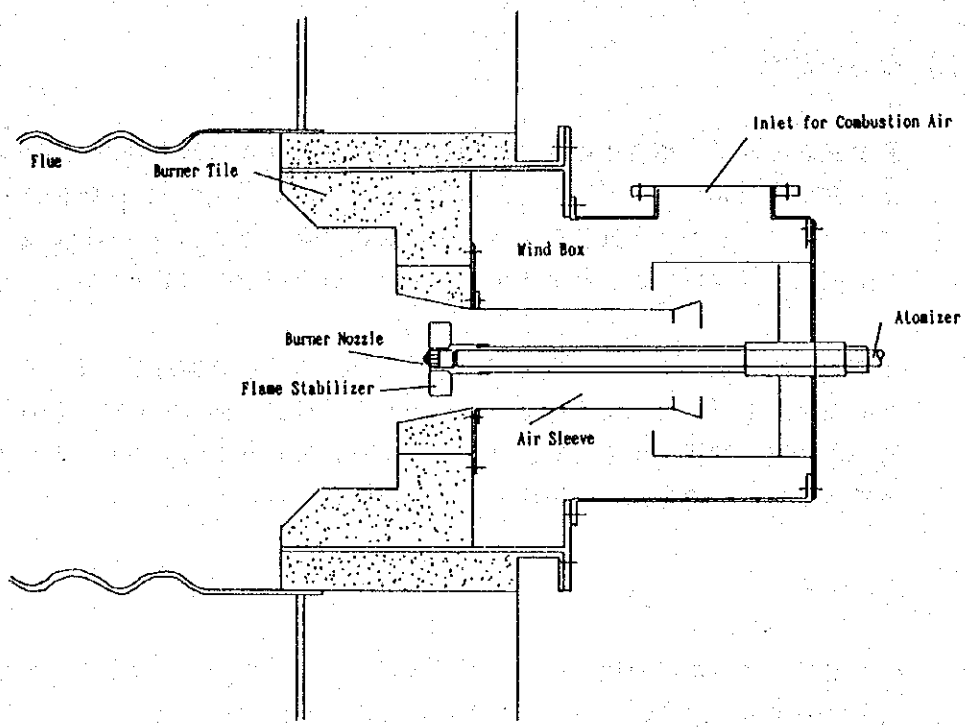


図 4.6.1 標準型バーナの構造

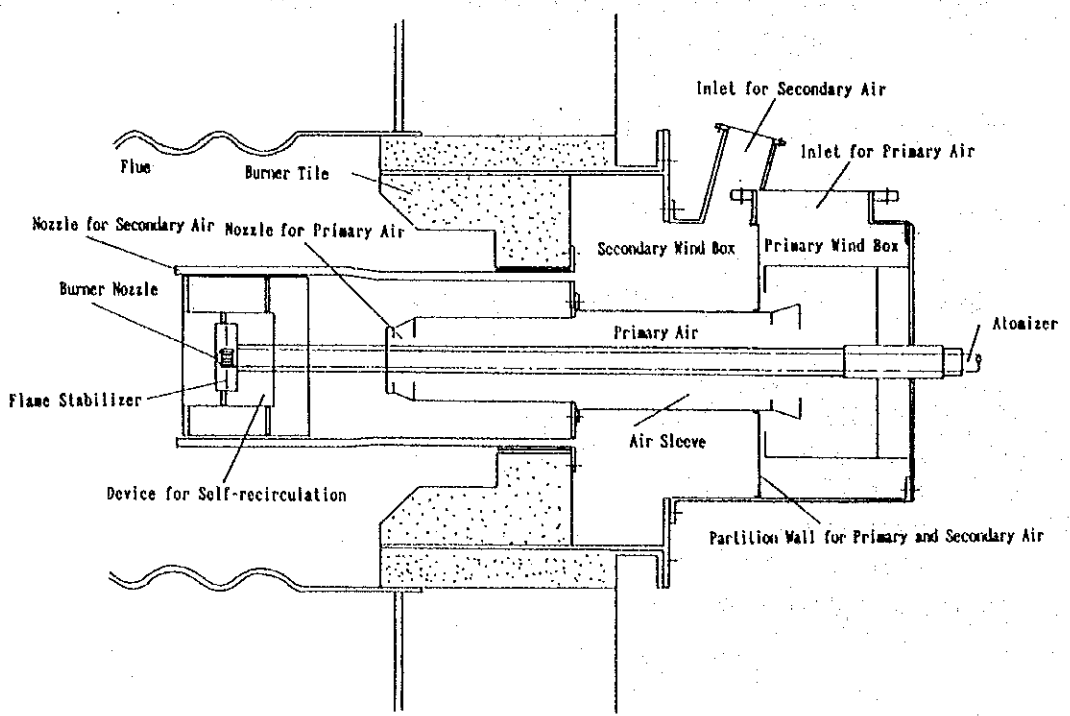


図 4.6.2 改造型バーナの構造

(4) 改造による構造の変更

標準型バーナは、図 4.6.1 に示したように、燃焼用空気は全量空気入口からバーナに入り、ウインドボックスからエアスリーブを通り、保炎器で旋回を与えられた後、バーナノズルから噴霧される燃料と混合され、拡散しながら炉筒内で燃焼に供される。

一方、改造された自己再循環バーナは、図 4.6.2 に示したように、燃焼用空気は 1 次と 2 次に分割され、それぞれ独立して空気量を制御できる構造とした。

1 次空気は、ウインドボックス、エアスリーブを通り、バーナタイルの一部を撤去して取付けた 1 次空気用ノズルから自己再循環装置へ向けて吹き出される。このノズルは、先端が絞ってあるため、ベンチュリ効果が得られ、燃焼排ガスを引き込むことができる構造である。1 次空気は、バーナノズルを取り囲むように取り付けられた保炎器により旋回を与えられて燃焼に供される。この燃焼は、排ガスの一部が循環するため、還元雰囲気下の不完全燃焼火炎となる。

2 次空気は、ウインドボックスから 8 ～ 16 本に分かれた 2 次空気用ノズルにより、自己再循環装置の先まで導かれ、不完全燃焼中の火炎に供給され、完全燃焼を図る。これらのノズルは、ウインドボックス内で分割されるため、そのままではウインドボックス内の気流の関係からノズルの取付位置により空気量に偏りが生じ、完全燃焼とならない部分が生じる。このため、ノズルの断面積を調整して火炎内に空気量が一樣に分布するよう図った。

図 4.6.3 に、2 次空気ノズルの断面を示す。

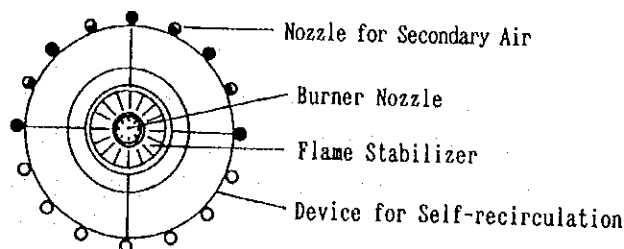


図 4.6.3 改造二次空気ノズルの構造

(5) 試運転

バーナの改造に当っては種々の問題が発生し、それぞれの問題を順次解決しながら完成させた。問題点と解決方法は、以下のとおりである。

- 1) 1次、2次空気用隔壁のリーク：隔壁は、燃焼試験終了後のバーナの原状復帰が容易になるように、簡易な方法で取り付けため、1次から2次側へ空気のリークが発生した。対策として、シリコン系シール材及び耐火モルタルをリーク部に充填した。
- 2) 1次空気用ノズルの取付け部からのリーク：1次空気の一部がノズルを通らずに炉筒内に進入したため、再循環流を破壊した。対策として、1次空気用ノズルをエアスリーブに電気溶接し、進入空気を防いだ。
- 3) 2次空気量不足による不完全燃焼：当初、2次空気ノズルを8本としたため、空気量不足から不完全燃焼となった。対策として、ノズル数を16本とし、さらに、空気量のバランスをとるためノズル断面積を調整した。

(6) 試験結果

N分 3,500 ppm程度のガスオイル (160 l/h) を標準バーナで燃焼させた場合、排ガス中のNO_x濃度は、酸素濃度が3%の時 260~280 ppm となるが、改造した自己再循環バーナは、同一条件で 200~220 ppm となり、20%程度濃度を下げることができた。

(7) 復元

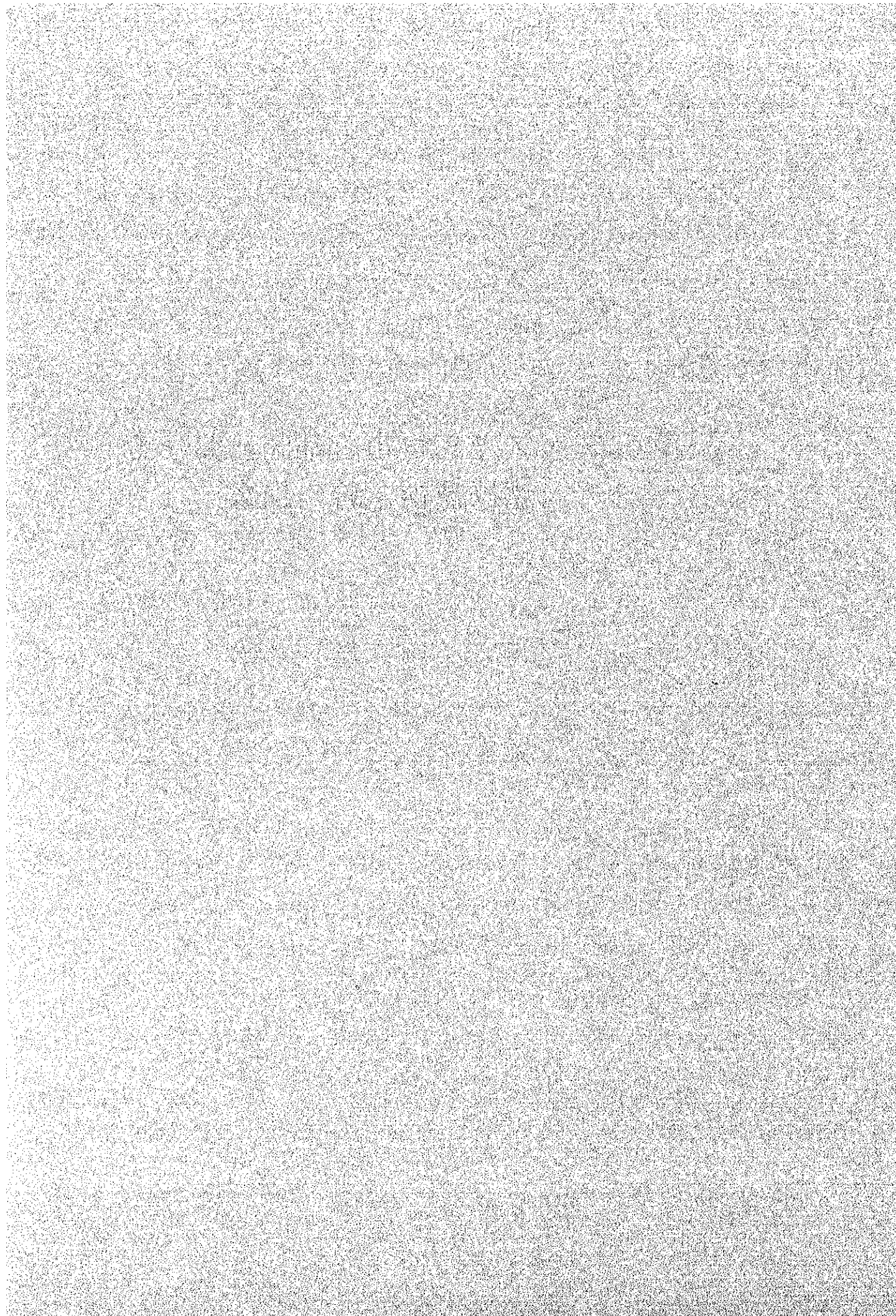
試験終了後、改造のために取付けた部品を全て撤去し、原状に復した。

(8) 改造バーナの評価

この改造により、市販の低NO_xバーナに匹敵する好結果が得られた。改造費は、おおよそ 6,000 US\$であり、日本製の低NO_xバーナの価格約 40,000 US\$ の、おおよそ 15%なので、燃焼管理の見直しで得られる燃料費の削減分の充当で対応が可能である。

しかし、各企業の所有するバーナは、それぞれ形状をはじめ仕様が異なるので、改造を実施する際は、排ガスの循環と還元燃焼が確保できるように十分注意する必要がある。

第5章 メキシコ市首都圏における 燃焼技術改善の提案



第5章 メキシコ市首都圏における燃焼技術改善の提案

以上に述べた首都圏の固定発生源の診断調査および燃焼試験の結果より、メキシコ市首都圏の固定発生源におけるNO_xの削減および省エネルギーのための燃焼技術の改善に関して、提案を行う。

5.1節は、燃焼試験結果を踏まえた提案であり、ボイラーにおける液体燃料の燃焼を対象としている。5.2節ではボイラーにおける省エネルギー対策について既存の知見をとりまとめ参考に供する。5.3節はボイラーにおける天然ガス燃焼に関し、主として既存の知見に基づいて留意事項を提案する。5.4節は首都圏におけるボイラー以外の主要なNO_xの排出源である特定の工業用炉について、既存のNO_x削減方法のうち、有効と考えられるものを提案する。

5.1 燃焼試験から得られた結論

これまでに行われた軽油とガスオイルに関する燃焼試験の結果、メキシコ市首都圏における燃焼技術の改善のために、以下のような提案をする。

5.1.1 低 NO_x 燃焼技術

(1) 軽油焚きボイラー

窒素分 270 ppm の軽油で試験したところ、蒸気霧化の場合はもちろんのこと、空気霧化であっても排ガス中の NO_x 濃度は、排出基準の 110 ppm をこえることはなかった。したがって、軽油を燃料とするボイラーに関しては、特別な NO_x 削減対策は必要無いと考えられる。しかし、NO_x の総量を削減する見地から、またエネルギー節約の見地から、燃焼技術の改善がなされることが望ましい。

(2) ガスオイル焚きボイラー

窒素分 720 ppm のガスオイルで試験したところ、標準型のバーナでは条件次第では、排ガス中の NO_x 濃度が排出基準の 110 ppm をこえる場合もあることがわかった。試験に用いたボイラーおよびバーナは、両者のバランスを考慮に入れて設計され、かつ全ての管理用計器も整った条件のもとに熟練者によって運転された。こうした条件は、メキシコ市首都圏における一般のボイラーがおかれている条件より恵まれたものと考えられる。一般のボイラーが負わされている可能性のある不利な条件を考慮に入れると、ガスオイル焚きボイラーには何らかの低 NO_x 燃焼技術の導入を必要とする場合があると考えべきである。燃焼試験の結果、ガスオイル焚きボイラーに有効と判定された主な低 NO_x 燃焼技術は次ぎのものである。

- 1) 蒸気霧化の導入 空気霧化方式のバーナを改造する必要があるが、この切り替えによって試験では最大で30～40%のNO_x削減

- が見られた。
- 2) 標準型バーナの改造 自己再循環機能をもたせるように改造することにより、最大で20%のNO_x削減が見られた。
 - 3) 低空気比燃焼 空気比を1.49から1.07に下げるとNO_x排出濃度は30%削減できる。現状で使われている空気比が大きい場合は、これを低く抑えることはNO_x対策として有効である。但し、そのためには燃焼管理用の計器が必要になる。
 - 4) 低NO_xバーナの導入 3種類の低NO_xバーナを試験したところ、7～30%のNO_x削減が見られた。NO_x削減効果は、空気比を下げると大きくなる傾向にあるので、この性能を十分に発揮させるには、空気量を制御する注意深い運転が求められる。
 - 5) EGRの導入 排ガス再循環装置を追加設置する。試験では、最大で約22%のNO_x削減が見られた。

上記の技術のうち、1) 蒸気霧化の導入、2) 標準型バーナの改造、および3) 低空気比燃焼は、比較的少ない設備投資で導入できるので、中小規模のボイラーに適していると考えられる。この3種類の技術は、経済的には有利な反面、追加部品を既存のボイラー構造に適合させる点が技術的に難しい。一方、4) 低NO_xバーナの導入、および5) EGRの導入は、前述の3種類の技術に比べて設備投資額が大きくなるので、中規模以上のボイラーに採用される可能性が大きい。経済的な負担は比較的大きくなるが、技術的な難しさは小さいので、より確実な効果が期待できる。

5.1.2 省エネルギー運転技術

省エネルギー運転は、そもそもの狙いを燃料の節約に置いているが、燃料の節約即ち排ガス量の削減であるから、NO_x排出量もまた削減できる。試験ボイラーにおいて、低空気比運転、エコマイザ、空気予熱等の省エネルギー運転技術について調べたところ、目に見える経済効果およびNO_x削減効果の得られることが示された。これら運転技術は、結果として生産コストの削減をもたらすだけに、導入のインセンティブが高いので、メキシコ市首都圏における燃焼技術改善の一つの核として位置付けられるべきものである。

(1) 適正空気比による燃焼

ZMCMの固定発生源の中で特に多くの燃焼施設に共通して高濃度のNO_x排出の原因となっているのは、空気過剰燃焼である。調査した燃焼施設のうち、排ガス中の酸素濃度が4%以下のものはアンケート調査対象の143施設中の15施設(10%)と少なく、1990-1991年に実施された前回のJICA調査時点に比べてあまり改善されていない。空気比と排ガス損失との関係、空気比とNO_x濃度との関係をよく理解し、省エネルギーとNO_xの排出削減に努力することが望まれる。

1) 適正空気比燃焼による燃料節約

ボイラーの熱損失の中で最も大きいのは、排ガス損失である（図 5.1.1 参照）。その排ガス損失は、排ガス量と排ガス温度で決まるので、排ガス量を最小にする必要がある。排ガス温度を一定とした場合、排ガスの量すなわち持ち去る熱量は空気比に比例して増加するので空気比を適正に保つ必要がある。

各排ガス温度ランクごと（200～1,000℃）の空気比に対する排ガス損失の割合は、図 5.1.2 によって求められる。

空気比が 1.30 以上ある燃焼装置において、標準空気比を 1.30 として調整した場合、空気比改善による燃料節約効果は、図 5.1.3 によって求められる。

※ 空気比 (m) の計算式は以下のとおりである。

① 一般式

$$m = \frac{(N_2)}{(N_2) - \frac{79}{21} \left\{ (O_2) - \frac{1}{2}(CO) \right\}}$$

② 簡易式

$$m \approx \frac{21}{21 - (O_2)}$$

注) (O₂) (N₂) (CO) は、各ガスの容量パーセントを表す。

2) 排ガス中の酸素濃度と NO_x 濃度の関係

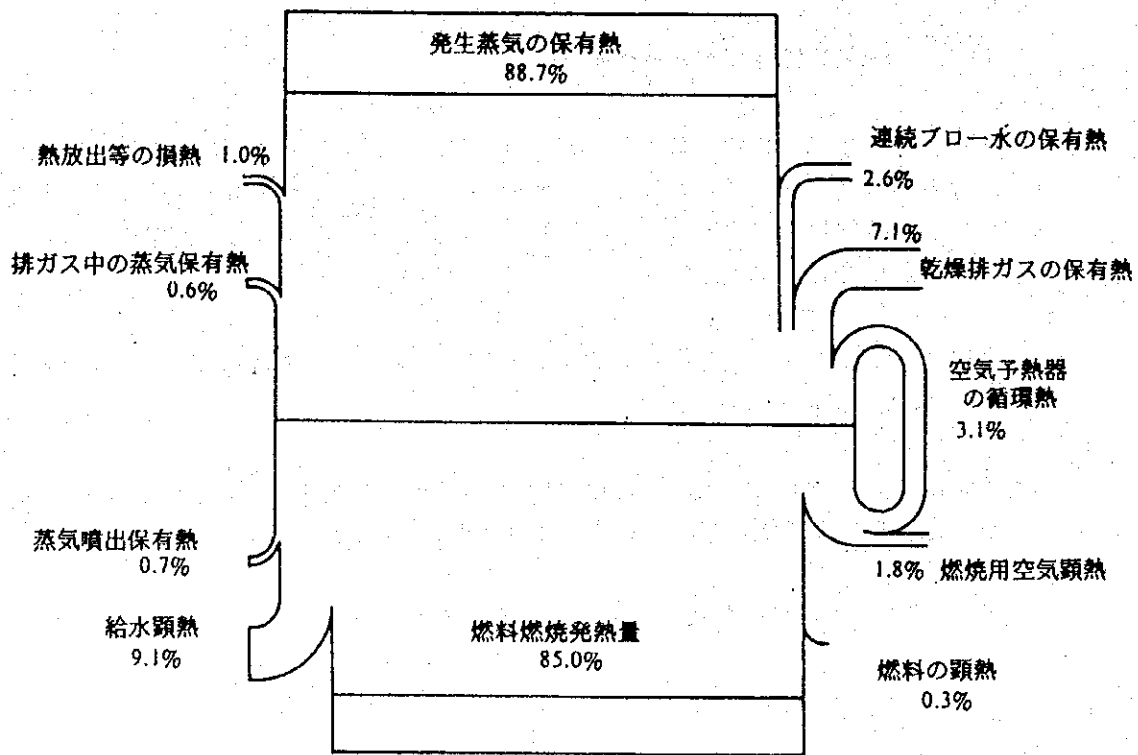
今回の燃焼試験結果から、排ガス中の酸素濃度がいかに NO_x 濃度に影響を及ぼすかについて、ガスオイル燃焼における例を示す。

図 5.1.4 と図 5.1.5 に示すとおり、ガスオイル燃焼における NO_x 濃度は、排ガス中の酸素濃度が 3% の時より 7% の時の方が約 30% 高くなっている。このことは軽油についても同様である。

NO_x 排出の抑制には、低空気比（低酸素）燃焼が基本であり、排ガス中の酸素を 3% 以下に抑えることが、最も重要である。

3) 低空気比燃焼の方法

適正空気比は、一般的にはガス、油、石炭の順に大きくなる。空気比を適正化するために留意すべき点は、以下のとおりである。



$$\text{総蒸発量} = \frac{13.67 \text{ kg}}{1 \text{ kg} \times 0.93 \text{ kg/lit.}} \times 1000 = 14.7 \text{ ton/k.l.}$$

出典：参考文献D 7

図 5.1.1 20 ton/h ボイラーの熱収支 (例)

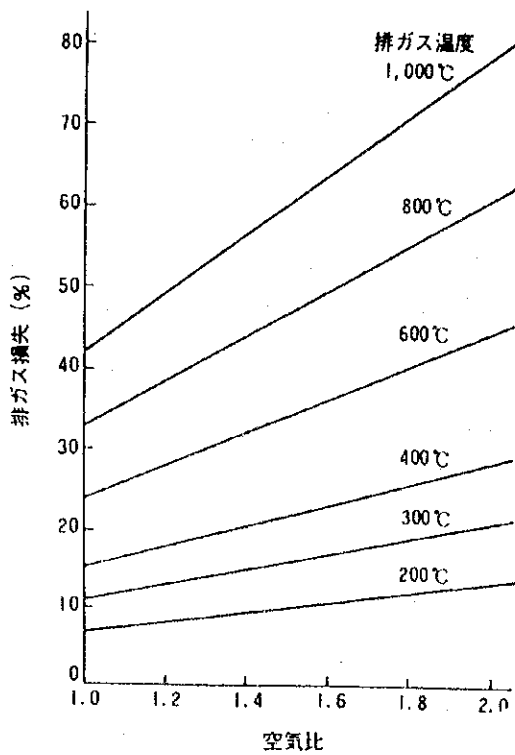


図 5.1.2 空気比と排ガス損失の関係

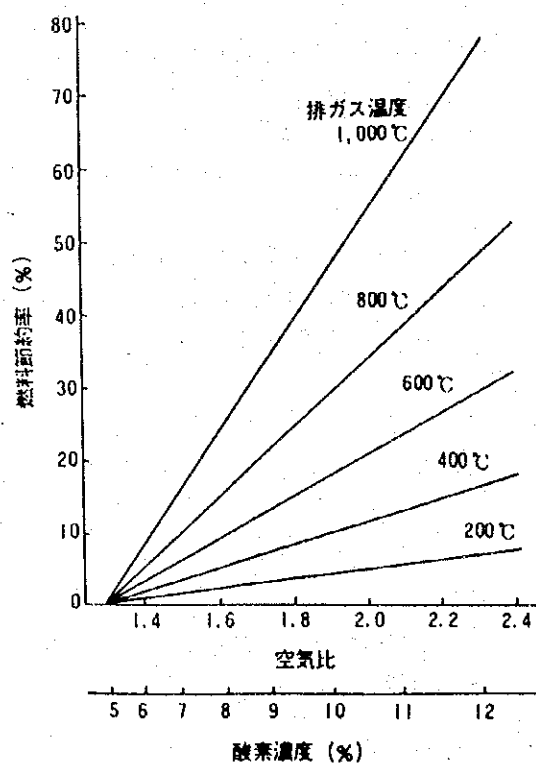


図 5.1.3 空気比を1.30に調整した場合の燃料節約率

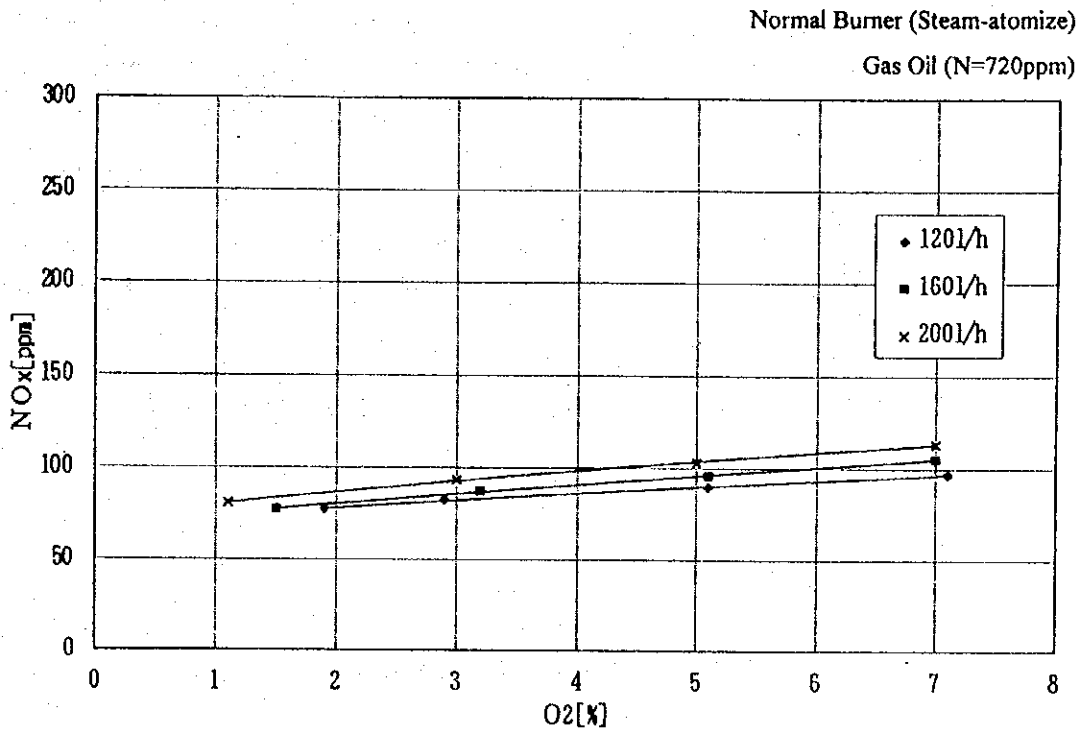


図5.1.4 排ガスの酸素濃度とNOx濃度 (ガスオイル、蒸気霧化通常バーナ)

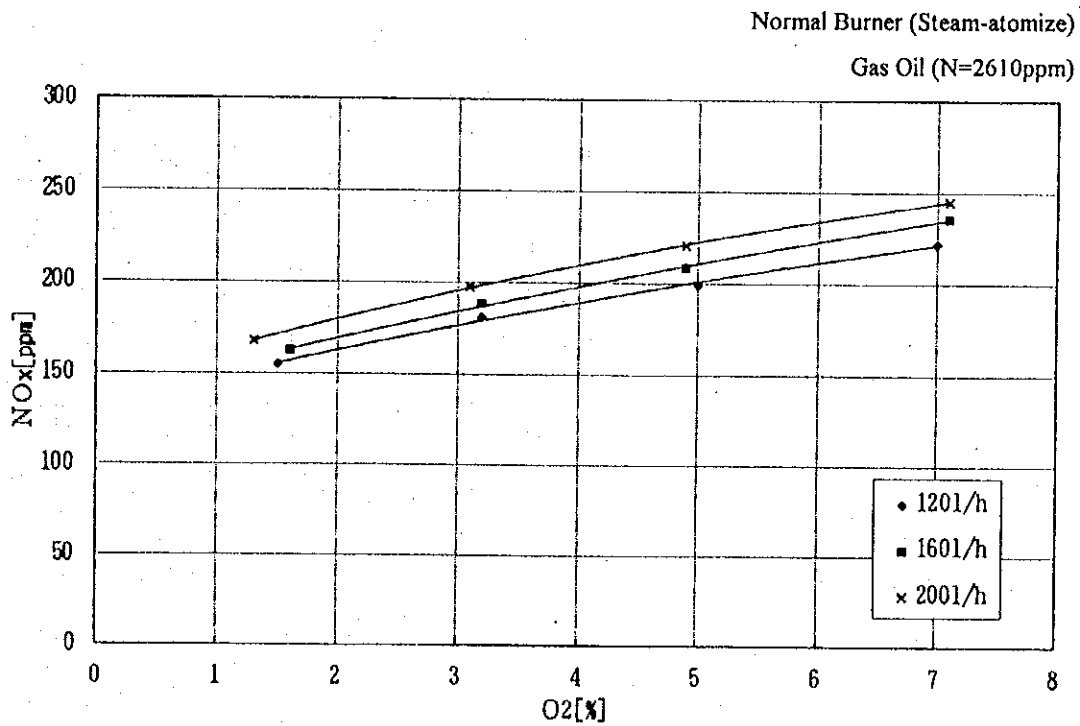


図5.1.5 排ガスの酸素濃度とNOx濃度 (ガスオイル、蒸気霧化通常バーナ)

① 空気量調節

空気比が適正であるかどうかは、排ガス中の酸素濃度を分析することにより確認できるが、日常管理では炎や煙の状況を観察して調節しなければならない。煙突から出る煙を観察しながら、かすかな黒煙が発生する状態より少し多目に空気量を調節する。

ガスオイルや軽油を燃焼している場合、正面のノゾキ窓から見て、やや黒っぽい中心のまわりにまぶしく輝く炎が安定した形で存在するときは、適正空気比に近い。

空気量が適正值より少なめになると、炎の先端付近が黒みを帯び、ススが発生するようになる。一方、空気が過剰のときは、火炎が極端に短くなり、枝状の炎が激しく動揺する。炎の色も白色に近い黄色になる。

② 空気比判断基準

空気比は、燃料種別、負荷率、制御装置の構成などによって左右されるので、標準の設定に当っては、その点を考慮しなければならない。参考までに、日本の判断基準の値を表 5.1.1 に示す。

この値は、表の負荷率の範囲で定常操業を行っているときについて定めたものである。

表 5.1.1 日本におけるボイラーの標準空気比

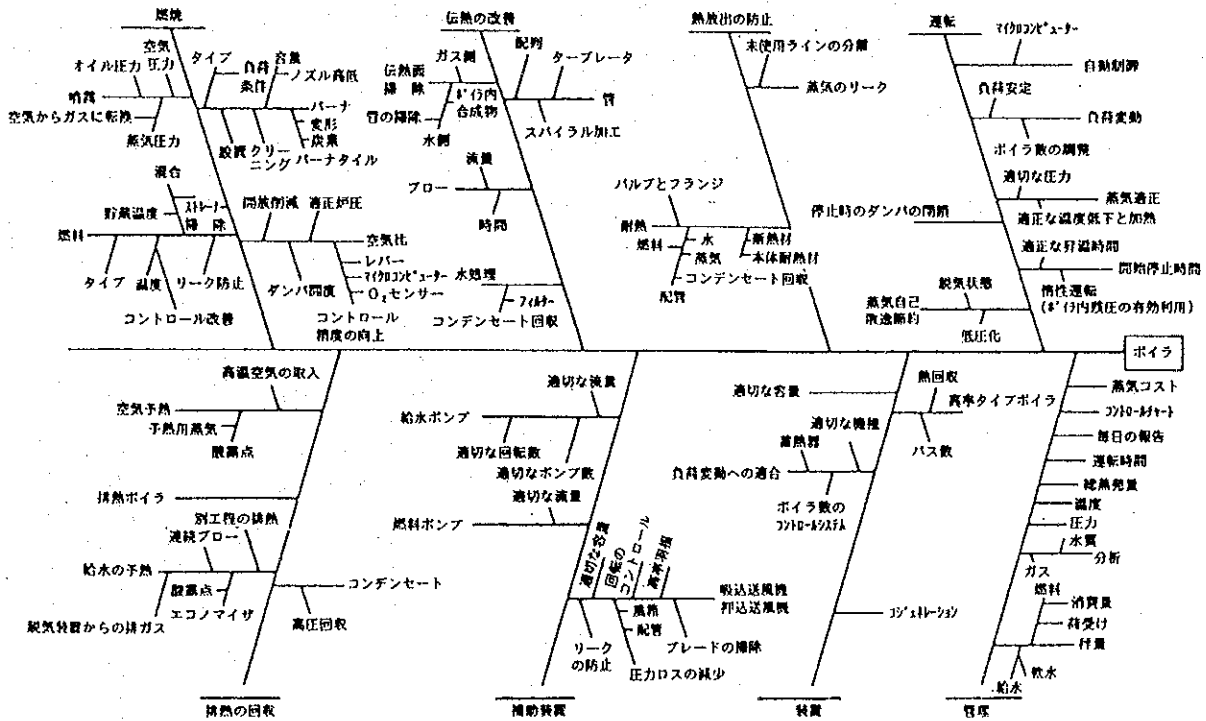
類型	負荷率 (%)	標準空気比			
		固体燃料	液体燃料	ガス燃料	高炉ガスおよび他の副生ガス
火力発電所ボイラー	75~100	1.2~1.3	1.05~1.1	1.05~1.1	1.2
その他のボイラー	蒸発量：30 t/h超	1.2~1.3	1.1~1.2	1.1~1.2	1.3
	蒸発量：10 ~ 30 t/h	-	1.2~1.3	1.2~1.3	-
	蒸発量：10 t/h未満	-	1.3	1.3	-

出典：参考文献D 8

5.2 ボイラーの省エネルギー対策

5.2.1 ボイラーの省エネルギー項目

ボイラーの省エネルギー項目は、図 5.2.1 に示す特性要因図に示すように多岐にわたるが、この中で重要な点について以下に述べる。



出典：参考文献 D 7

図 5.2.1 ボイラーの省エネルギー項目

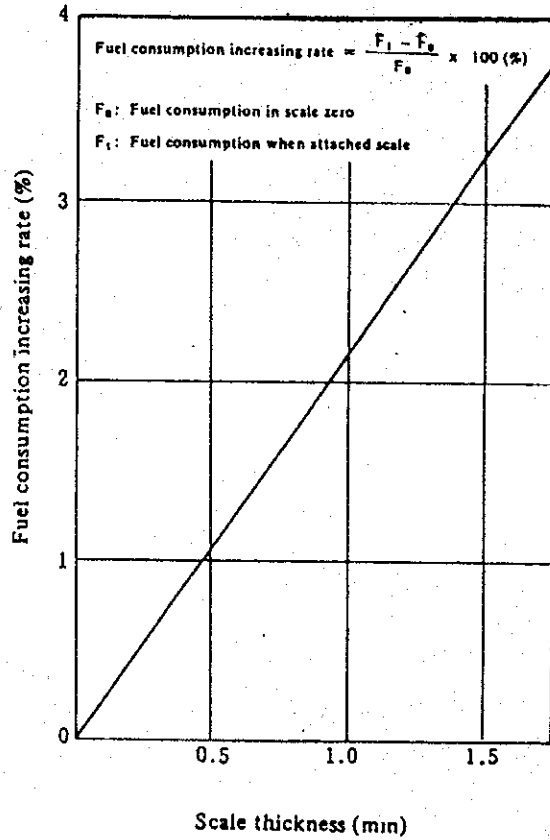
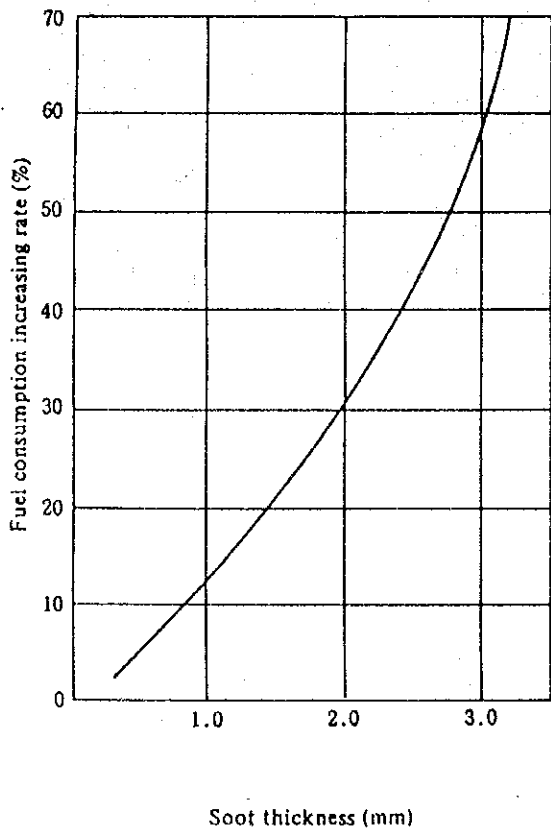
5.2.2 伝熱の改善

すすやスケールの熱伝導率は、組成や付着状態によっても異なるが、表 5.2.1 に示すように、軟鋼の場合の 1/100 ないし 1/1,000 に過ぎない。したがって、これらが付着することは、伝熱面に断熱を施したのと同様で、著しくボイラーの熱効率を低下せしめる (図 5.2.2 及び図 5.2.3 参照)。

表5.2.1 スケールその他の物質の熱伝導度

物質	熱伝導度 (kcal/mh℃)
すす	0.06~0.1
油性物質	0.1
主としてケイ酸塩のスケール	0.2~0.4
主として炭酸塩のスケール	0.4~0.6
主として硫酸塩のスケール	0.6~2
軟鋼	40~60

出典：参考文献B10



出典：参考文献D9

図5.2.2 伝熱面のすすによる燃料浪費(例) 図5.2.3 伝熱面のスケールによる燃料浪費(例)

スケールによる障害を避けるためには、ボイラー水の軟水化及びブローを正しく実施すること及び定期的な掃除が必要である。

水側伝熱面の掃除は、給水の処理の程度にもよるが、通常年1回、ブラシ等による手掃除かインヒビターを加えた酸による化学洗浄により行う。

ガス側伝熱面については、1～3カ月毎にブラシにより掃除を行う。その期間内であっても、排ガス温度が掃除直後に比べて30℃程度高くなったときは掃除を行う必要がある。

能力に余裕のある炉筒煙管ボイラーでは、煙管内に特殊鋼製の曲板（タブレーター）を挿入し、ガスの流れに乱流を起こして境膜の熱伝達を改善することも行われる。

5.2.3 排ガスの熱回収

ボイラーにおいては、空気比を適正に保ち、伝熱面の汚れを少なくして排ガス温度が上昇しないようにすることが基本であるが、なお排ガス温度が高い場合は、排ガスの排熱を回収して、給水や燃焼用空気を予熱し、全体としての熱効率を高めるようにする。一般的に大型のボイラーでは、空気予熱器と給水予熱器の両方を備えている場合が多く、中小型ボイラーではそのいずれかを備えている場合が多い。

空気を予熱すると、持ち込む熱の増加による省エネルギー効果に加えて、着火性や保炎性の向上、燃焼速度の上昇等の効果により空気比の低減が図れ、さらに火炎温度も上昇するので、これらによる省エネルギー効果も期待できる。

しかし、空気予熱を行う場合は、火炎温度の上昇によるNO_x発生の増加、バーナの燃焼空気導入部分の耐熱性に注意しなければならない。

エコノマイザの設置を計画する際は、コンデンセート回収、連続ブローからの熱回収、太陽熱や他のプロセスの排熱利用などによる給水予熱効果と総合的に比較検討することを忘れてはならない。他の熱源により、既に給水温度がある程度上昇している場合は、エコノマイザの経済性が低くなる場合もあり得る。

ボイラーの熱効率は、工業炉に比べて一般的に高く、排ガス温度も相対的に低い。その中でも、大型ボイラーについては経済的にも排熱回収設備を取り付けやすい条件にあり、排ガス温度が低い。また、気体燃料の場合は一般的に低硫黄であり、排ガス温度の低い点までの熱回収が可能である。

日本の排ガス温度判断基準では、これらの点を勘案して表5.2.2に示すように容量別、燃料別に排ガス温度の標準を定めている。

表5.2.2 日本における排ガスの標準温度

類型	標準排ガス温度 (°C)				
	固体燃料	液体燃料	ガス燃料	高炉ガスおよび他の副生ガス	
火力発電所ボイラー	-	145	110	200	
その他のボイラー	蒸発量: 30 t/h超	200	200	170	200
	蒸発量: 10 ~ 30 t/h	250	200	170	-
	蒸発量: 5 ~ 10 t/h	-	220	200	-
	蒸発量: 5 t/h未満	-	250	220	-

(注) この標準値は、定期整備後、外気温度20°C、負荷率100%の条件での温度である。
出典：参考文献D 8

5.2.4 空気比修正と空気予熱による燃料節約率

図 5.2.4 に、空気比修正、空気予熱及び両者を同時に実施する場合の燃料節約率を示す。

例えば、炉温が 1,300°Cの炉において、空気比を 1.4から 1.1に修正すると、燃料節約率は 35%である。また、同じ炉において、燃焼用空気を 400°Cに予熱すると、燃料節約率は 27%となる。両者を同時に実施するときの総括燃料節約率は52.5%になる。

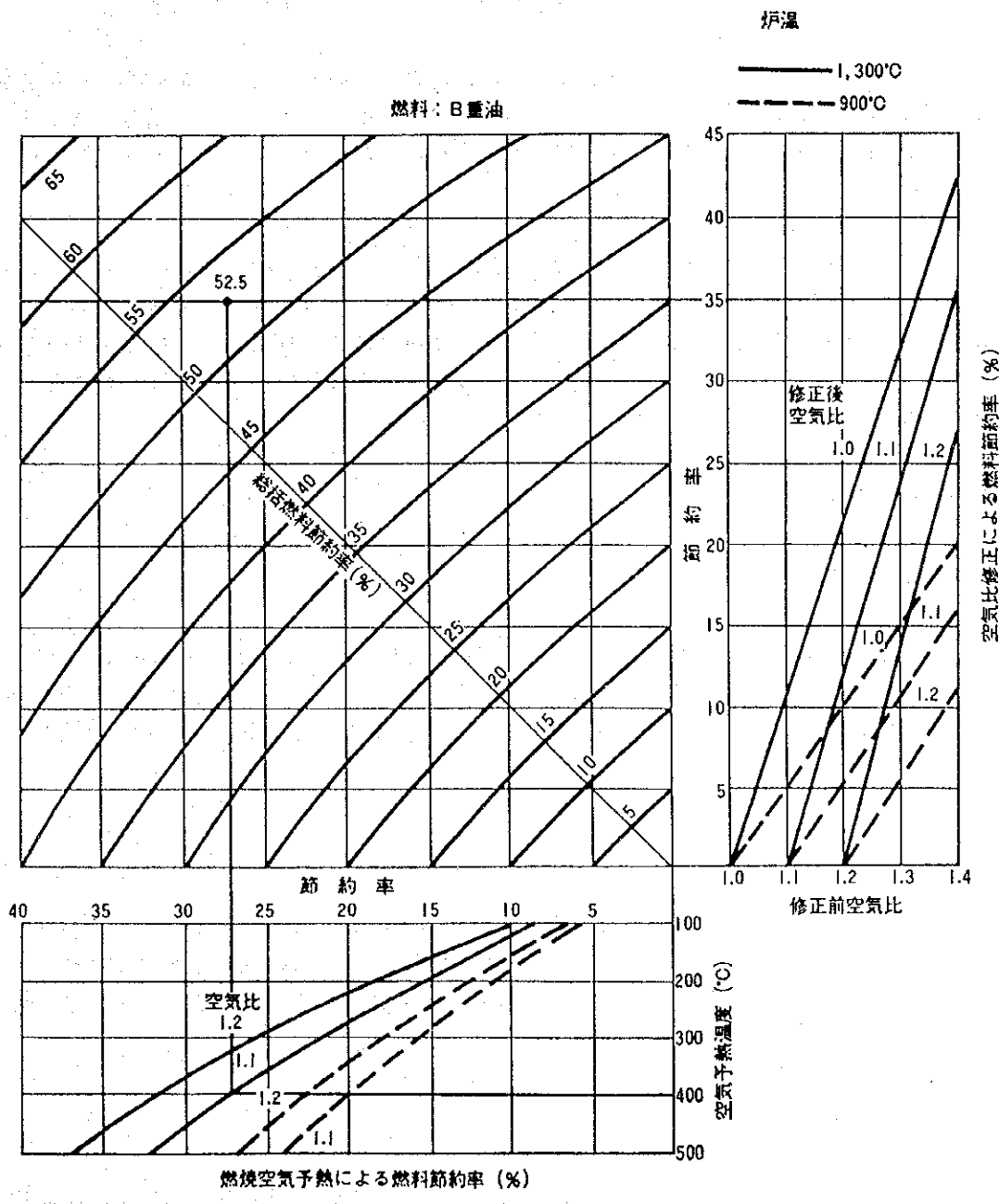
ボイラー、加熱炉及び各種工業用炉における燃焼効率向上の手段として、燃焼用空気の予熱が行われる。この場合の空気予熱による燃料節約率の求め方を以下に示す。空気を予熱しないときの燃料消費量は (1)式で表わされる。空気を予熱するときの燃料消費量 (2)式のようになる。したがって、空気を予熱するときの燃料節約率は (3)式となる。

$$\frac{Q_0}{H_A} \text{ [kg (燃料) / h]} \quad (1)$$

$$\frac{Q_0}{H_B} = \frac{Q_0}{H_A + P} \text{ [kg (燃料) / h]} \quad (2)$$

$$\frac{\frac{Q_0}{H_A} - \frac{Q_0}{H_A + P}}{\frac{Q_0}{H_A}} = \frac{P}{H_A + P} \quad (3)$$

- Q_0 : ボイラーや炉等をついやされる熱量 [kcal/h]
- P : 予熱空気の持ち込む熱量 [kcal/kg (燃料)]
- H_A : 空気を予熱しないときの有効熱量 [kcal/kg (燃料)]
 $H_A = \text{燃料の真発熱量} - \text{排ガスの持去る熱量}$
- H_B : 空気を予熱するときの有効熱量 [kcal/kg (燃料)]
 $H_B = H_A + P$



出典：参考文献D 9

図 5.2.4 空気比修正及び燃焼空気予熱による総括燃料節約率

5.2.5 放熱防止

ボイラーは、放熱面の大部分が水又は蒸気と接触して放熱量をできるだけ抑えるように設計されており、保温も一般的によく行われている。しかし、ZMCM内のボイラーでは、ボイラーまわりの給水管、バルブ、フランジ等については、保温されていないことが多い。

また、給水タンクにコンデンセートなど温水を回収している場合に、液面調節の方法が悪く、せっかく回収した温水をいたずらにオーバーフローさせている例もよく見られる。オーバーフローさせる必要のある場合は、底部の低温水をオーバーフローさせるような配管にしておくべきである。

日本の判断基準においては、ボイラーの断熱の基準として具体的な数字は示さず、日本工業規格 (JIS A 9501) に従うこととしている。このJISでは、保温後の表面からの熱損失に相当する燃料費と保温工事に要した費用の年間償却費の合計額が最小となるような厚さの保温をするよう決められている。すなわち、その時々燃料価格や保温の施工費に応じて、最も経済的になるように保温厚さを選べはよいことになっている。

5.2.6 その他

(1) 補機の省エネルギー

規模の大きいボイラーについては、プロワや給水ポンプの容量の適正化を図る。また、低負荷運転の機会が多い場合は回転数制御を行い、バルブ、ダンパでの絞り損失を軽減するようにする。空気予熱器やファンに付着するダストは定期的に掃除し、圧損の増加や効率の低下を防ぐ。

(2) 運転

蒸気消費が昼間の場合、立上りの早い貫流式のボイラーが望ましいが、炉筒煙管型のときは立上げ時間を早過ぎないようにし、また、残圧を利用できる時間を見計らって作業終了前に早目に止めるなどの工夫が必要である。ボイラー停止時は、煙道ダンパを閉ざし、炉の冷えるのを防ぐ。

(3) 日常管理

ボイラーの省エネルギーを進めるためには、必要な計器を備え、日々の運転状態を把握することが基本である。特に、蒸発量と燃料量の関係、すなわち蒸発倍数を監視し、性能低下が認められれば、原因を調べて直ちに適切な処置を取らなければならない。表 5.2.3 は、運転日誌の見本であるが、ボイラー管理のためにはこれらの事項を記録し、蒸発倍数、給水温度、排ガス温度、排ガス中の酸素濃度などについては、長期傾向のわかるようなグラフを作り、異常の早期発見に役立てる。このように成績を表示することは、ボイラー運転者の省エネルギーに対する関心を高めることにも役立つ。

5.3 天然ガス燃焼における低NO_x燃焼法

諸般の事情で天然ガス供給工事が大幅に遅れ、1994年12月中旬までの現地調査期間中に本格的な天然ガスの燃焼試験は実施できなかった。したがって、今後のメキシコ側による天然ガス燃焼試験に役立てるため、日本における実施例を含む各種技術資料を紹介する。

5.3.1 低NO_xの手法

天然ガス燃焼ボイラーにおける低NO_x燃焼法としては、以下の方法が考えられる。

- a) 低NO_xバーナの性能アップ
 - b) 既存バーナを利用した各種低NO_x燃焼法の組合せ
 - c) 低NO_xバーナ+低NO_x燃焼法
- a) については、自己再循環型バーナに濃淡燃焼 (OFS) または2段燃焼 (TS)、分割火炎燃焼 (DFT)、薄膜火炎燃焼 (TF) 等の機能を付加してNO_x濃度が50ppmを下回る実績が得られている。
- b) については、排ガス再循環 (EGR)、OFSや蒸気噴射 (SI) 等を組み合わせて50 ppmを下回る実績が得られているが、バーナ数の多い大型ボイラーに用いられる手法である。小型ボイラーに対して一般化することは困難である。
- c) については、自己再循環型低NO_xバーナとEGR法または、SI法が代表的な例としてあげられる。EGR法との組み合わせの場合、日本ではEGR率10%でNO_x濃度30ppm以下実例がある。

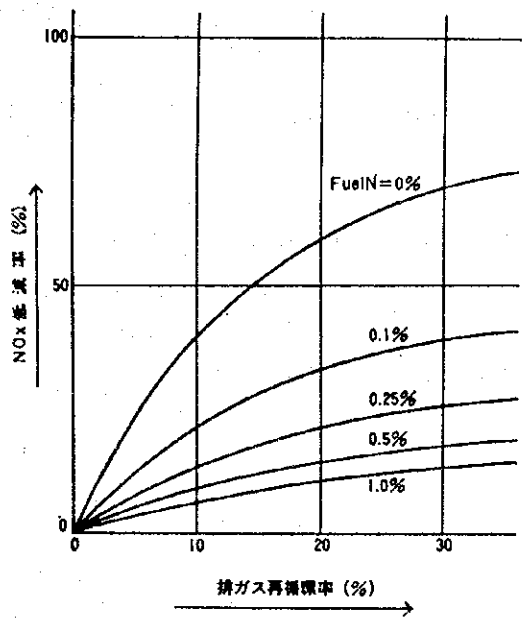
EGR法は燃焼ガスの一部を燃焼用空気に再循環させることで、火炎温度を下げNO_xを低減する方法で、低減効果が大きく採用実績も多い。天然ガスのようにN分が殆どない燃料に対しては、低NO_x燃焼法としてEGRを採用するのが最も効果的と考えられる。

SI法は火炎内に蒸気を噴射することで火炎温度を下げNO_xを低減する方法で、10%程度の低減効果が得られているが、発生蒸気を自己消費するため、省エネルギーの観点から最良の方法とはいえない。

5.3.2 EGRの効果

(1) NO_x低減効果

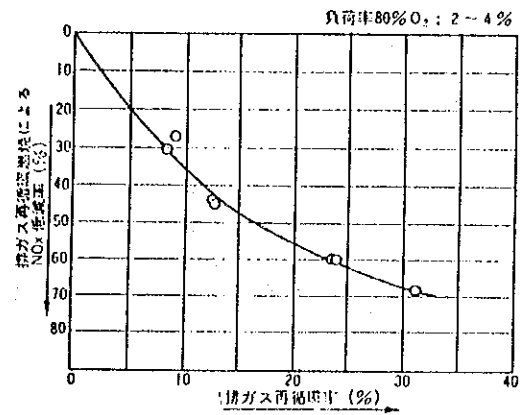
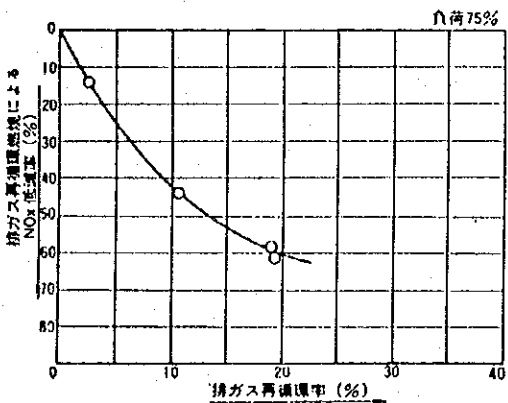
図5.3.1にEGRにおけるEGR率とNO_x低減率の関係を燃料中のN分別に示す。燃料中のN分が低い程、EGRの効果が大きく、天然ガスに対しては最も効果的であることがわかる。



出典：参考文献B11

図5.3.1 EGR率および燃料中の窒素分とNO_x低減率の関係

図5.3.2と図5.3.3にパチューカの燃焼試験プラントボイラー（3.6 t/h 炉筒煙管式ボイラー）と類似の型式で、同程度の容量をもつ煙管式ボイラー2基（AおよびB）を用いて日本で行われた液化天然ガスの低NO_xバーナとEGRによる燃焼テストの結果例を示す。



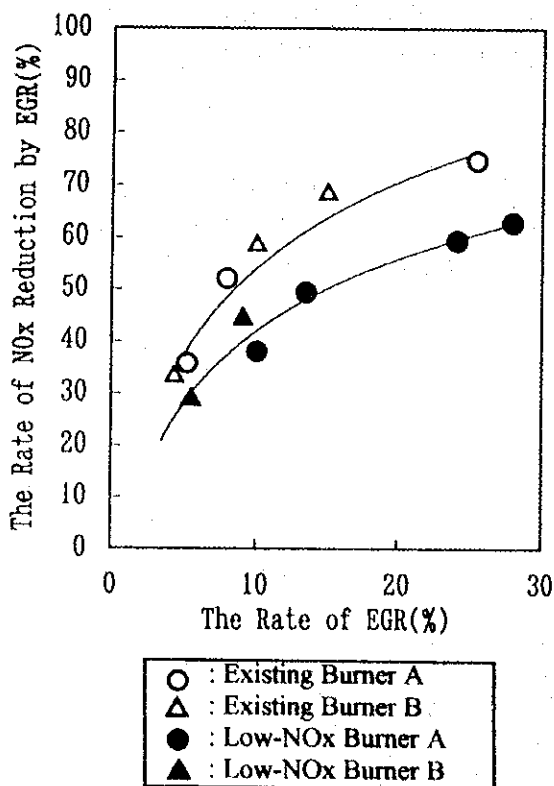
出典：参考文献B12

図5.3.2 ボイラー(例A)におけるEGR率とNO_x低減率 図5.3.3 ボイラー(例B)におけるEGR率とNO_x低減率

EGRによるNO_x低減効果はEGR率10%でNO_x低減率平均40%、20%では平均60%程度である。

初期NO_x濃度（EGR率0%）が120~130 ppm および 60~70 ppm の場合のEGRによるNO_x低減率を図5.3.4に示す。

ボイラーの型式、構造の違いやバーナ等の条件の違いがあるので、必ずしも上記の低減率が適用できないケースもあると思われるが、低NO_xバーナ等の使用により初期NO_x濃度が低ければ、NO_x低減の効果は小さい傾向がある。EGR率が15~20%以下の領域では、NO_x低減率はEGR率を上げることにより急速に上がるが、それ以上になると効果は横ばいになる傾向を示す。



	バーナ	初期NO _x 値 (0.5%換算)	ボイラ 容 量
○	既 設	125	水管 30 t/h
△	既 設	128	水管 25 t/h
●	低NO _x 用	60	煙管 3.6 t/h
▲	低NO _x 用	70	煙管 3 t/h

出典：大阪ガス技術資料等より編集

図5.3.4 EGRを用いた実機による天然ガスの燃焼試験結果の例

(2) 省エネルギー効果及び安全対策

EGRは、省エネルギーと低NO_x燃焼の2つのテーマを両立させているが、厳密に言えば、EGRを行うことによる負の影響をも考察することは必要である。EGRを行えば、基本的に火炎長さが伸びて燃焼室出口温度が上昇傾向にあることは否定できない。しかし、この燃焼室出口温度を支配する因子としては、他に空気比、負荷率等もあり、EGRによる燃焼室出口温度の上昇は、空気比、負荷率の影響に比べれば極めて小さい。また、排ガス温度からみれば、その影響はさらに小さいと言える。

安全対策として、排ガス混合後の燃焼用空気の酸素濃度が16%を下回らないように、常に燃焼用空気の酸素濃度の測定を行うことが必要である。

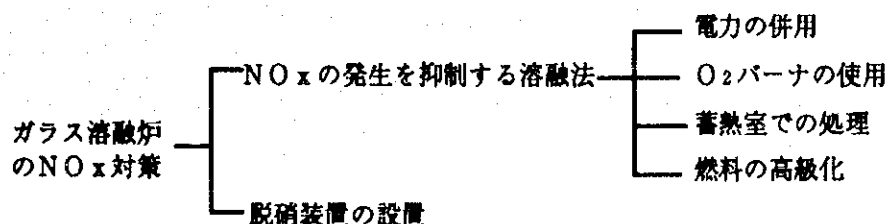
5.4 特定の工業用炉のNO_x削減方法

5.4.1 ガラス溶融炉

メキシコ首都圏で最も高濃度のNO_xを排出している工場は、ガラス工場であり、他の都市に比較して工場数も多い。

ガラス溶融炉では、ガラスの温度を1,500℃以上の一定温度に保たなければならない。ボイラーにおける低NO_x燃焼法の多くは、結果的に火炎温度を低下させることに依存しているので、これらの適用は不可能である。

ガラス溶融炉のほとんどは、蓄熱室（一部換熱方式もある）をもち、排ガスの保有熱によって燃焼用の2次空気の加熱を行い、炉内温度の上昇、燃料の節約を図っている。下記にガラス溶融炉のNO_x対策を示す。



(1) 燃料-電力併用炉によるNO_xの低減

重油を使用しているガラス瓶製造用の通常のタンク炉では、直接通電を併用している例は少ないが、その併用割合は小さく、NO_x対策よりもむしろ引上量の増加などを主たる目的としている。

この電気ブースターよりさらに電力の併用割合を増加し、必要エネルギーの1/2まで電気を使用した炉がある。この炉では天井温度を全燃料炉より約100℃低くすることができたとしている。一般に、電力の併用割合を増加すれば、炉は小型になるので、燃焼室での燃焼ガスの滞在時間も短くなり、かなりのNO_xの低減が期待できる。ZMCMでは、ガラス工場(A)が実機運転を行っており、良好な結果を得ている。

(2) 酸素バーナによるNO_xの低減

Fuel Nを含まない天然ガス燃焼において、燃焼用空気の代わりに酸素を使用したNO_x低減法をZMCM内のガラス工場(A)が開発し、1993年より実機運転を行っている。

同社のガラス溶融炉(TF-UMT)のNO_x濃度は、前回調査時(1990年)1,226 ppm(O₂ 5%換算)であったが、今回訪問時では僅か60~70 ppmと驚異的な低下を示していた。この成功は、合成ゼオライトを用いた空気中のN₂とO₂の分離が容易に行える方法が開発され、安価なO₂が入手可能となったこと、また、サイトでも簡単に製造が可能になったためである。

N₂の吸着分離は、通常モルキュラシーブ5Aが用いられていたが、天然モルデナイトの場合には常温でもかなりのN₂を吸着し、その吸着量は合成ゼオライトより大きい。この特性を利用して、空気中のN₂-O₂分離プロセスが開発され、溶接用、酸素吸入用に利用されている。この天然モルデナイトは、メキシコ、アルゼンチンにも産出すると言われ、今後の利用が期待されている。

(3) 蓄熱室内でのNO_xの低減

1) NH₃による均一気相反応

EXXONによって開発されたNH₃を還元剤として用いる無触媒プロセス(特許は期限切れ)で、これを蓄熱室内の出口付近の750~1,000℃の温度領域に適用するもので、O₂=1~10%、NH₃/NOのモル比は1、H₂/NHN₃のモル比は3以下、これに0.01%(100 ppm)のC₂H₄又はC₃H₈を加えると、60~90%程度NO_xの低減が可能であるといわれる。

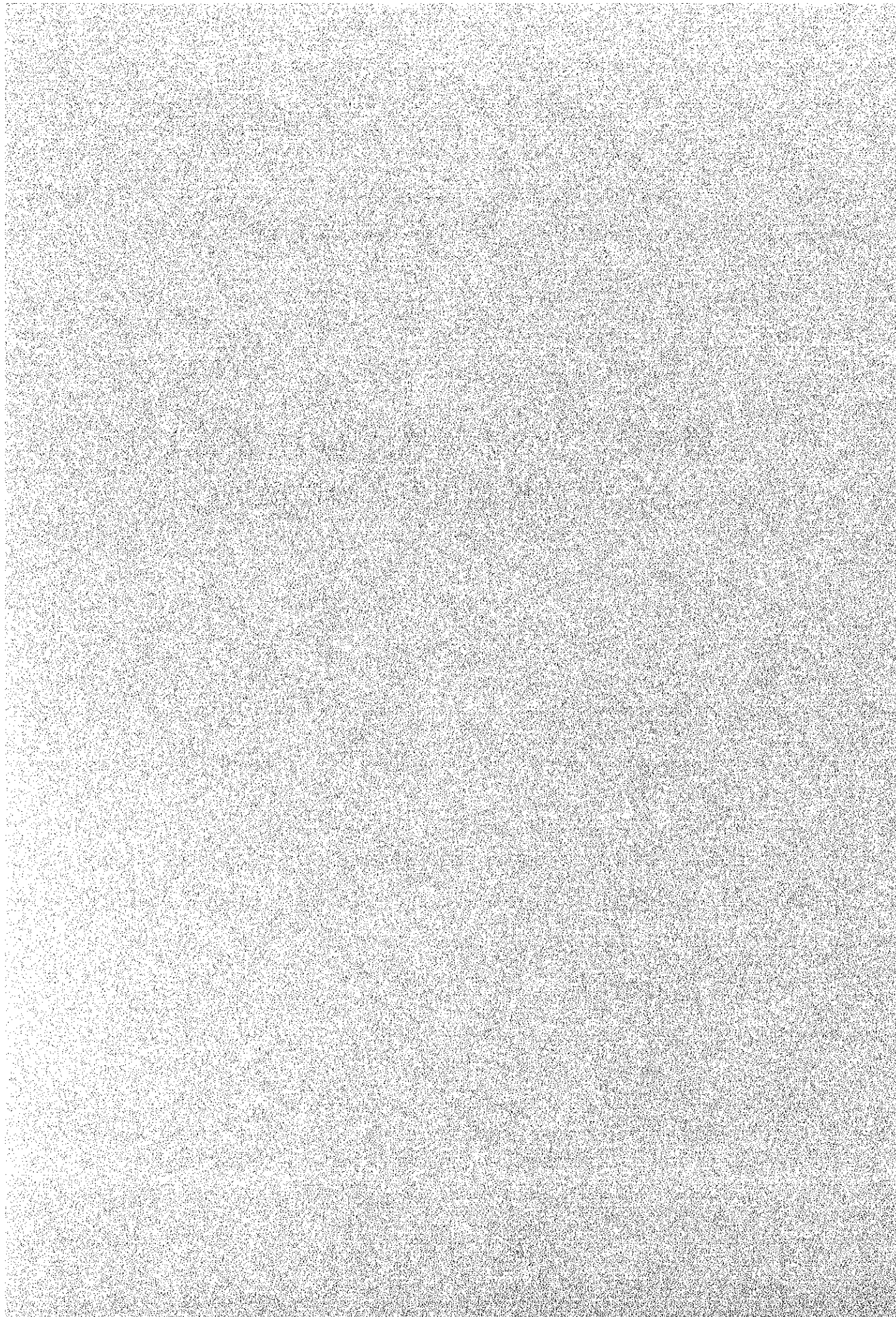
2) 尿素水溶液噴霧による方法

蓄熱室出口付近の1,000℃前後の温度領域に20%尿素水溶液を噴霧する方法で、酸素濃度1~10%、尿素/NOのモル比を1.1とすると、30~40%程度のNO_xの低減は可能である。

5.4.2 ロータリーキルン (セメント)

セメント焼成用ロータリーキルンにおいては、燃料原単位も改善され、かつ、NO_xを低減するNSP型キルン (ネオ・サスペンション・プレヒーター型キルン) が開発されている。これは、燃焼改善による低NO_x技術であるが、このサスペンション・プレヒーターの前にガスジェネレーターと呼ばれる燃焼室を設け、ここで発生したCO、H₂等の還元性ガスとセメント原料の触媒作用によって脱硝するいわゆる非選択還元法をNSP型キルンと組み合わせた技術が開発され、実用化されている。60%程度の脱硝率が得られており、大型の付属装置が必要ないので、経済的負担は小さい。

第6章 低NO_x燃焼技術の普及および 制度強化のための提案

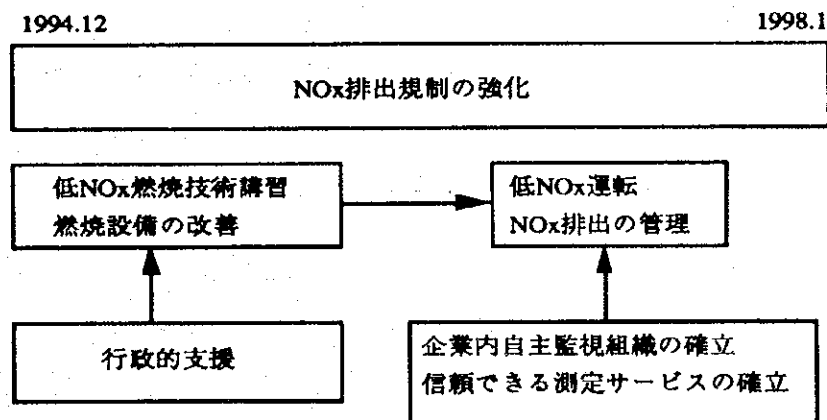


第6章 低NO_x燃焼技術の普及および制度強化のための提案

メキシコ市首都圏における固定発生源の特質は、使用する燃料、設備仕様、数量、運転状況などの面から把握された。これらの固定発生源に適した低NO_x燃焼技術も、パチューカでの試験で燃料の種類別に確かめられた。本章では、メキシコ市首都圏に適した各種の燃焼技術を普及し、もって法にもとづくNO_x排出規制を達成してゆくために必要な措置を提案する。

メキシコにおいては低NO_x燃焼技術の導入は未だ緒についた段階であり、一方排出監視の体制も十分に整っていない。従って低NO_x燃焼技術の普及は、排出監視体制の整備と一体として進めてゆく必要がある。この両面を並行的に推進してゆくには相当の期間を要すると考えられるが、ここでは目標の時期を、NO_xなどの排出基準が強化される1998年1月とする。

提案の目的は、その目標時期までに大多数の固定発生源が新しい排出基準を達成できるようになることである。この目的を達成するために提案する以下の各種措置は、下図に示すような相互の関連をもっている。



提案する低NO_x燃焼技術普及および制度強化のための措置

6.1 NO_x 排出削減のためのボイラーオペレータの育成

6.1.1 技術的改善の必要性

固定発生源からのNO_xとばい煙の排出削減のための各種燃焼技術を導入するためには、燃焼設備のオペレータの能力開発が必要である。

メキシコにおいては、ボイラーの安全運転を確保するための燃焼技術は、「ボイラーと圧力容器取締法、1936」によって明文の規定がなされており、この法律はいくらかの修正を経て今も効力を持っている。この法律は、ボイラー運転に携わる「施設長」、「オペレータ」、「火夫」等の資格要件を定めており、その要件にはそれらの資格を得るための義務的な試験を含んでいる。

これとは別に、燃焼設備のオペレータに対するエネルギー節約の普及をめざす、任意参加の能力開発制度がCONAEにより用意されている。

安全とエネルギー節約にかかわる燃焼技術は、上述の法規定と能力開発制度によって順調に軌道に乗せられてきた。低NO_x、低ばい煙燃焼技術も、この種の汚染物質の排出基準を達成するために、同様に普及することが期待される。しかし、現状の基準達成状況は必ずしも満足できるものではない。

一方、排出基準は、第2章で述べたとおり1994年12月に「NOM-085-ECOL-1994」として改定された。NO_xの排出基準の変遷を表6.1.1に示す。新しい基準のもとでは、ボイラー所有者がこれを達成することは、1997年12月31日までの間は今までより容易になる。しかし基準は1998年より、43,000 MJ/時以上殆どのボイラーに対して再び厳しくなり、その他に対しては1994年12月までの基準より緩くなる。

従って、特に大型のボイラーを設置している多くの企業は新基準を満足させるためにNO_xの削減対策の採用を考慮中である。しかし、NO_x削減のための施設の運転にはオペレータの技能向上が必要となる。そのため、特に43,000MJ/時以上のボイラーの運転に従事する人々に対して技術訓練を行うことを提案する。

ボイラー以外の燃焼設備は排出基準「NOM-085」からも除外されているので、この提案には含めないこととする。

表 6.1.1 ボイラーに関する NO_x の排出基準改定

ボイラー容量 (MJ/hr)	燃料種別	NO _x 排出基準 (ppm)					
		1994年12月まで		1997年12月まで		1998年1月から	
		メキシコ 首都圏	RP	メキシコ 首都圏	RP	メキシコ 首都圏	RP
5,250まで	重油または ガスオイル	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用
	その他液体	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用
	ガ ス	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用
5,250～ 43,000	液 体	150	270	220	400	190	375
	ガ ス	130	180	220	400	190	375
43,000～ 110,000	液 体	140	250	180	400	110	375
	ガ ス	120	160	180	400	110	375
110,000超	個 体	不適用	不適用	160	400	110	375
	液 体	130	240	160	400	110	375
	ガ ス	100	150	160	400	110	375

出典：参考文献 B3、B6

注：RP：メキシコ首都圏、モンテレイ、グアダハラハラ、クリティカルゾーンを除いた地域

6.1.2 導入すべき技術

(1) 前提の考察

技術訓練の対象となる燃焼技術は、容量43,000MJ/hr以上の大型ボイラーで、ガス、軽油、ガスオイルを使用するものが110ppmのNO_x排出基準に合致するためのものを主体とする。

訓練コースの主題として、次ぎの4項目を推奨する。

- a. 燃焼過程におけるNO_xとばい煙の発生機構
- b. 汚染物質削減の原理とその応用
- c. 汚染物質を削減する運転方法（実習を含む）
- d. 省エネルギー運転

上記の主題 a. および b. は、基礎知識として本調査の初期に別冊の「燃焼試験テキスト」の中で説明した。汚染物質を削減する運転方法として、燃料の種別を問わずボイラーに共通しているものは、低空気比運転であり、これは低NO_x運転の中核である。NO_x削減における低空気比運転の効果を、訓練コースのなかで実演する。空気比の違いによる火炎の目に見える差異もまた示し、受講者がその後その技術を応用する際の助けとする。

コースでの実習には、小容量の先進的なボイラーを用い、受講者が講義で学んだNO_x削減理論を確かめる機会を与える。もう一つの実習の目的は、受講者が日頃使っている設備と実習で用いるものとの類似性と差異を知ることによって、自分の設備に適した低NO_x燃焼技術の取り入れ方を見い出させることにある。

(2) 燃料の種類に応じた講習対象技術

1) 軽油またはガスオイルを使用するボイラー向け

メキシコに導入する低NO_x燃焼技術としては、自己再循環方式の低NO_xバーナを用いた排ガス再循環法（EGR）が適していると考えられる。燃焼試験の結果、通常の窒素含有量の燃料、例えば軽油（270 ppm）とガスオイル（720 ppm）では、通常のバーナとEGRによって排ガスのNO_x濃度を110 ppm以下に低減できることがわかった。

軽油燃焼については、表6.1.2に示すように、空気霧化あるいは蒸気霧化のいずれでもNO_x濃度110 ppm以内に制御することができた。ガスオイル燃焼については、蒸気霧化と排ガス中の酸素濃度を6%以下に保つことにより、NO_x濃度を110 ppm以内に制御することができたが、酸素濃度は、エネルギー節約の見地から3%以下に制御することが望ましい。

表 6.1.2 通常の窒素含有量の油の通常バーナによる
燃焼試験における排ガス NOx 濃度

条件	NOx濃度 (ppm)	
	軽油	ガスオイル
空気霧化	90 - 100	80 - 160
蒸気霧化	60 - 90	80 - 120
排ガス中酸素濃度	1 - 7%	
ボイラー負荷率	50 - 90%	

2) 天然ガスを使用するボイラー向け

EGR法は、メキシコに導入するに適した方法と考えられる。予定された試験期間に燃料が来なかったためガス燃焼試験は行えず、したがって試験結果を参考にできない。しかし、天然ガスの組成は国による差異が少ないので、日本で使われているガスボイラー向けの NOx 燃焼技術がメキシコにもまた適用可能と考えられる。天然ガスは一般的に窒素をほとんど含まず、EGR法は低窒素の燃料の燃焼のNOx削減に最も効果的なので、その採用が天然ガス燃焼にとって最も適している。

6.1.3 育成の初期段階

本調査の中で行われた技術移転セミナーは、メキシコにおけるボイラーオペレータの能力開発の初期段階における技術講習として位置付けられる。

(1) 技術講習のプログラム

メキシコにおける技術講習コースは、NOx削減の知識とボイラーに関連した運転技能に重点を置くことが望ましい。本調査の中の技術セミナーでは、これらの主題が講義と実習によって効率的に習得されるように、以下のような内容とした。

1) 講義

- a. コース概要の説明
- b. 低NOx燃焼とエネルギー節約に関する理論的問題の紹介
- c. 試験設備と試験操作の概要説明

2) 試験設備によるグループ実習

- a. 制御因子に関連した試験設備の機能説明
- b. 燃焼管理実習
- c. 試験結果の評価

(2) プログラムの受講者

本調査での技術移転セミナーへの参加企業の選定はINEによってなされ、参加者はそ

の企業によって「施設長」、「技術者」、「オペレータ」、管理職などから選ばれた。参加企業としては、大型のボイラーを所有するものを優先したが、小さい設備の所有者であっても、NO_x排出で深刻な問題に直面している場合には、受講者として受け入れた。また、関係する各政府機関も職員を参加させた。その結果、21の民間会社以外に9政府機関も含めて76名が参加した。

全ての受講者を、次の3グループに分け、各々に異なる実習メニューを与えた。

- a. ガスボイラー使用企業 : 2チーム
- b. 軽油ボイラー使用企業 : 2チーム
- c. ガスオイルボイラー使用企業 : 2チーム

個々の参加者はコース終了後、INE およびJICA連名の講習修了証書を授与された。

6.1.4 育成の次期段階

(1) 能力開発の対象

首都圏にはおよそ1,500社の大中企業があり、固定発生源における大気汚染物質排出の主要部分をなしている。それゆえ、これらの企業でボイラーの運転に携わっている者をNO_x削減に関する能力開発の対象とすべきであろう。

実際に受講するものは、各企業の「施設長」、「技術者」、「オペレータ」のいずれかであることが望ましい。この計画の潜在受講者数は、各社一人を派遣するものと仮定して約1,500人と見込まれる。

ボイラー以外の燃焼設備におけるNO_xおよびばい煙の排出削減は、排出規制のさらに進んだ段階で、別途の技術改善プログラムとして追及されるべき課題である。

(2) 講習の主題

この段階での講習の主題は、次ぎの項目を提案するが、これらは初期段階と共通なものと同追加項目とからなる。

共通項目

- a. NO_xおよびばい煙の発生機構
- b. 汚染物質削減の原理と応用
- c. 汚染物質を削減する運転方法（実習を含む）
- d. 省エネルギー運転

追加項目

- e. 大気汚染に関する環境規制の知識
- f. 排ガス中の汚染物質濃度の測定知識

追加された主題「e. 大気汚染に関する環境規制の知識」は、排出基準「NOM-085」およびその従属規定類とで構成されるものであり、技術改善の努力によってどのような規制に合致しなければならないのかを明らかにする。「f. 排ガス中の汚染物質濃度の測定」は、本来ボイラーオペレータの主たる業務ではないが、測定の結果は燃焼設備の運転に反映されるべきものである。とりわけ排ガス中の酸素濃度は燃焼状態の基本的な指標であるから、オペレータも排ガスの測定方法に関し一応の知識を有することが望ましい。

(3) 実施時期

講義と実習からなるコースの一単位の継続期間は、10人の参加者に対して0.5週間と見込まれるので、企業から派遣される全体で1,500人の見込み参加者の講習を終えるには75週を要する。この時間的な要請から見て、講習が直ちに始められかつ切れ目なく行われるならば、新しい排出基準が効力を発揮すると定められた1998年1月1日までに、予定された講習をおおむね完了することができるであろう。全ての講習を1998年以前に完了して、ボイラー所有者の大半に低NO_x燃焼技術を普及しておくことは、新しい排出基準がその発効の当初から遵守されるために望まれるところである。何グループかをまとめて講義の部分を行えば完了を早めることができる。

(4) 実施機関

ボイラーオペレータの低NO_x燃焼技術に関する講習は、法的にはINEの活動の一部として行われることが望ましい。それはINEが固定発生源からのNO_x排出削減政策を推進する法的責任を負っているからである。排出基準の規制を受けるボイラー所有者は、「生態平衡と環境保護に関する一般法」によって、汚染物質排出状況を毎年INEに報告することを義務づけられている。これは、現行の固定発生源の規制体系のもとでボイラー所有者およびオペレータは、直接或いは間接にINEに管理されていることなので、講習の実施機関もINEが適任である。

固定発生源の規制に関連する他の政府当局は、それぞれの権限事項の分野で講習に協力することが期待される。実際の協力の形態は、講義と技術的な実習を部分的に担当することである。同時にそれぞれの政府当局の機能に応じて、コースに必要な施設、燃料その他の材料などの提供が期待される。講習における関係当局とそれらの役割に関する提案は下記の通りである。

1) 労働省 (STPS)

能力開発に関連したその基本的な機能は、1) 応募者のボイラーオペレータとしての能力を審査する、2) 安全運転の見地から免許を発行する、の二点にある。コース実施の当初にあたって、講習コースへの応募適確者となる免許ボイラーオペレータに関する情報をINEに提供することが望まれる。また、ボイラーの運転技術の教育に関する情報を、コースの講義と実習を担当するINEおよびその他の関係当局に、講習資料として提供することも期待される。

2) SE、IMP、PEMEX、CFE、IIE

これらの政府機関は SE を中心的な政策機関として、燃料とエネルギーの供給に関連する行為に責任をもっている。燃焼技術の研究開発は、IMPおよびIIEの通常業務の一部と考えられており、両機関はその分野の専門家を従業員または協力者として持っている。加えてIMPは、本調査の一環としてパチューカのラボに建設した試験設備を将来保有する見込みであり、この設備での燃焼試験にも何人かの担当者が参加した。この関係でこれらの政府機関には、講習コースの実習に使う燃焼設備、燃料及びその他の材料を提供するとともに、低NO_x燃焼に関する講義を受け持つことを期待する。

3) CONAE

この機関は、生産ラインにおけるエネルギー節約の教育プログラムを持っており、その中には燃焼設備の運転におけるエネルギー節約の講習コースも含まれている。CONAEの講習コースの終了者はすでに1,100人にも達している。1990年に始まる講習の初期の講師およびトレーナは、欧州連合政府から派遣された専門家に依存していた。しかし講師陣は年々メキシコ人に入れ替わっている。メキシコ人の講師およびトレーナは必ずしもCONAEに所属しているわけではなく、大学またはコンサルタント会社に所属している。これらの認定された講師陣は、低NO_x燃焼技術に近接した主題の講習に進んだ経験を持っており、INEの講習プログラムでも講義と実習の両面で生かせるものと考えられる。

4) SINALP

SINALP は、官民合同的性格を持つ組織で、次の目的を持つ。加工製品の改良やその品質レベルの実証を望む者に対し、必要なインフラを提供する能力のある信頼性の高いラボを使用できるようにし、そこでの試験結果を認め、受容することにより、国際的商取引を促進し、現存資源の有効利用と国内産業の振興を図る。

信頼性の高いラボを使用できるようにするため、全国的に統一化された判断基準と業務方法にもとづく全国試験ラボ認定制度が定められた。この制度は機能上監視機構としての基準総局、(資格申請ラボ) 評価委員会、認定ラボにより運用される。認定ラボは、「メキシコ公式基準 093」(排出規制物質の公定測定法)に規定された測定法に基づいて、物質の量や状態を他者のために計測する業務を行うことが許されている唯一の機関である。

認定ラボには、講習における排ガス測定の講師派遣を期待する。たいていのボイラーの運転にかかわる排ガスの組成測定は、測定結果を排出規制との関係で権威づけるために認定ラボに委託される。したがってボイラーオペレータは、実際の燃焼設備の管理上この種の専門家にあう機会を持っており、しかも適正な測定が行われるよう、必要な運転情報をそれらの専門家に提供することが求められる。それゆえオペレータといえども、監視のあらましを知り、燃焼管理の必要性和効果を理解することが望ましい。

(3) 講習の形態

講習コースは講義と実習からなり、INEによって召集される。受講者は低NOxボイラー運転の立場から、先進的な管理技術の採用を期待されている候補企業のリストから選出される。関係政府機関は、このプログラムで図6.1.1に示すような役割を担うことが期待される。講習への参加は、企業の自発性を尊重した任意参加としてよいと思われる。というのは、排出抑制に対する産業界の前向きな姿勢が見られ、新しい排出基準の発効にそなえてすでに削減対策の導入を計画している企業もあるからである。第一段階として行われた講習（7月、8月）への積極的な参加状況もその表われと考えられる。

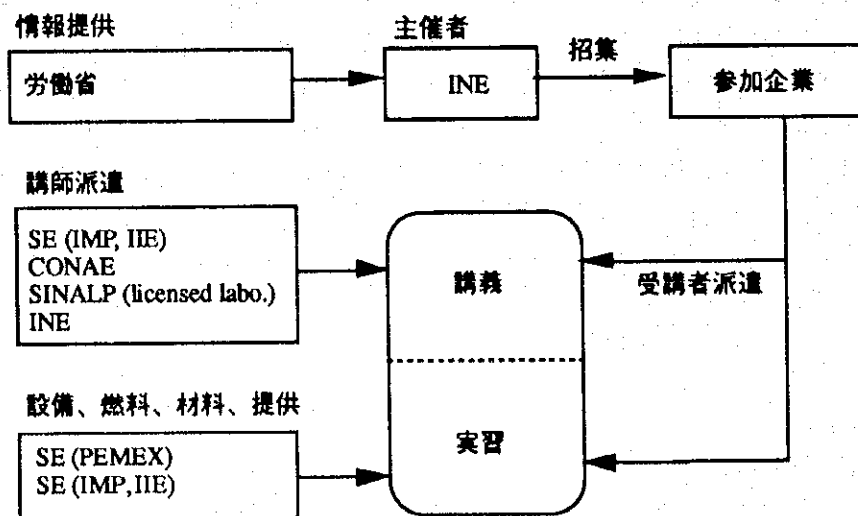


図 6.1.1 能力開発コースの実施組織

実施段階を暫定的に次のように提案する。

- 1) INEが受講予定企業を講習参加順にリストアップする
- 2) INEが講習参加の招待状を出す
- 3) INEが関係機関からの講師陣を組織し、受講者に講義する

- 4) IMPがPEMEX IIE と協力して、実習の試験設備、燃料、材料、テキストを用意する
- 5) INE が関係機関からの講師陣を組織し、実習を指導する

講習は、受ける側と与える側の双方に多様な支出をもたらす。講習を行う側にとっては、人件費、設備の維持管理費その他の経費が発生する。受講側には人件費、旅費が発生する。講師の費用は、排出基準に合致するようになるという利益を受ける側として、受講側に負担させることが妥当と考えられる。

6.2 NO_x 対策に係る制度の強化

6.2.1 企業の低NO_x燃焼技術導入への支援

(1) 汚染対策政策における支援策の一般論

制度的な支援策は一般的に強制的な環境規制の実現を促進する措置として使われる。支援策のための支出が基本的に正当化されるのは、支援策によって規制目標の達成が早められる場合である。メキシコ首都圏のNO_x排出総量のうち、固定発生源からのものはせいぜい四分の一であり、残りは交通部門から排出されている。この実態に照らしてみれば、行政効率を上げるためには、支援政策の応用も含めた行政財源の配分上、交通部門に焦点が当てられるべきだということになる。

固定発生源からのNO_x排出量のうち、ボイラーから約60%、ガラス溶解炉から25%が排出されており、この二種の燃焼設備が固定発生源の主要部分を代表している。ガラス溶解炉に対するNO_x排出規制は、1994年12月から実施されているが、その目標は主に加工ラインの更新によって達成されるであろう。炉内温度の要求があまりに高いため、低NO_x燃焼技術を効果的に導入する余地が殆ど無いためである。

他方ボイラーは、燃焼技術改善によるNO_x削減の余地は大きい。とりわけNO_x排出の大半が大中企業のボイラーからのものであるため、これらのボイラーがNO_x削減の重要な対象と考えられる。大型ボイラーに導入されるべき低NO_x燃焼技術の効果は、交通部門で実現の期待されるところに及ばないであろうが、特定の大型施設の近辺においては貢献するところが大きい。

(2) 支援策の性格

政府による支援策は、財務と技術の二側面から必要である。両面の施策の考えられる内容を図6.2.1及び次節(3)および(4)に示す。

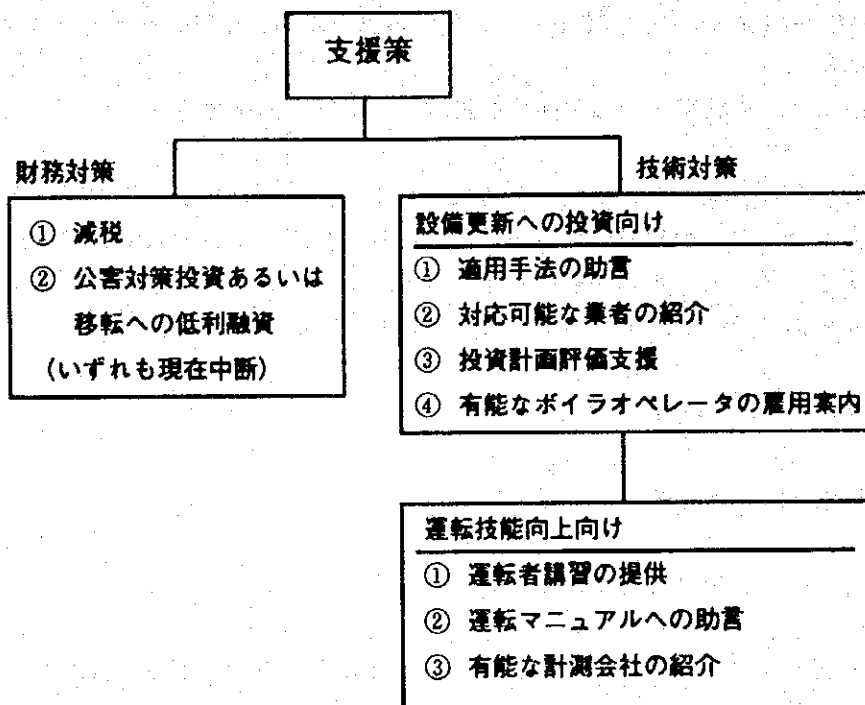


図6.2.1 政府による支援策の考えられる内容

低NO_x燃焼技術の実用には、設備と運転に関する幅広い知識と経験が必要とされるので、メキシコではまだ十分に普及していない。したがって、低NO_x燃焼技術のための支援策の重点は、低NO_x燃焼設備に関する技術情報の提供及び運転訓練の機会を提供することである。

そのほかの支援策たとえば減税、汚染物質削減対策向けの投資或いは特定業種の首都圏からの移転に対する低利融資等は廃止もしくは中断されている。これらの刺激策は、依然として排出規制の前進に有利な効果を持っていると考えられ、経済回復にともなう連邦政府の財政事情の好転した際には復活が望まれる。

低NO_x燃焼技術の導入に対しては、投資と操業の段階別に以下の支援策を提案する。

(3) 設備改善の投資に対する支援

民間企業がNO_x削減の設備改善に関して十分な情報を持っていない場合、その相談に乗ることが助けになる。相談の内容としては少なくとも次のことが考えられる。

- 1) 減税あるいは低利融資の紹介 (休止中)
- 2) 可能な改善の方法の提示
- 3) 有能な納入業者の紹介
- 4) 投資計画の評価への助言
- 5) オペレータ訓練のコースの紹介および離職中の有能なオペレータの紹介

この業務はその性格からして、民間の各業種毎に組織された任意参加の協会に受け持たせるのがふさわしい。政府組織は上記の相談業務の多くには直接かかわることはできないが、その協会の会員企業の相談役となる人物の選定や、サービス業務の人件費に対して補助金を出すなどの支援をすることは可能である。

何人かの相談役によって会員から出される要望に答えられるのであれば、相談機関は一つで足りる。それゆえ相談機関は業界横断的に組織されることになるであろう。メンバーとして挙げられる団体は、たとえば化学産業協会、セルロース・紙産業会議所、ゴム産業会議所などである。

(4) 運転技術への支援（訓練、マニュアル、測定）

1) オペレータの講習

運転要員の講習コースは前節で提案したおり、典型的なボイラーでのいくつかの標準的な低NOx燃焼方法を紹介するものであるが、受講者の属する企業には講習で使うボイラーとは異なる様々な型と規模のボイラーがある。したがって参加者は、自社のボイラーへの具体的な応用の方法を工夫することが要求されかつ、専ら自社のボイラーに当てはまる操作マニュアルを用意しなければならない。講習には、こうした個別の参加企業での応用にも助言を与える機能を持たせる。

2) 操作マニュアルへの助言

講習で紹介された技術は、現場での適用に当って修正が必要になる。これに伴う操作マニュアルを作ろうとするときに技術的な助けを要する企業には、上記の相談機関がこの要請に応じる。さらにこの操作マニュアルをINEに登録させることにより、INEは相談機関による技術的なチェックを経た上での、先進的な設備の使用を確認することができる。

3) 有能な測定会社の紹介

排ガス組成及び燃焼の管理因子の測定は、燃焼状態を適時に調節するため、原則として設備所有者側が行うべきである。しかし当面は、ボイラー所有者の多くは十分な能力を有していないので、酸素含有量を除いて外部の計測会社に測定を委託せざるを得ない。煙道ガスの計測会社は、現行の制度のもとでSINALPとINの両方の資格承認を受けなければならない。SINALPとINEは、測定業務を外部に委託しようとする会社に対して、資格ある計測会社を紹介することができる。但し、その信頼性の向上に関して次節で述べるような提案がある。

(5) 支援財源と実施主体

以上の支援策を実行するには財源が要るが、その拠出は、政府機関、産業界横断的な協会、支援の受益者らの間で分担することを奨める。個別の施策ごとの費用の主な拠出者の案を表 6.2.1 に示す。

表 6.2.1 支援施策の費用負担者 (案)

施策	活動	政府機関	産業界の協会	受益会社
投資・操作マニュアルの相談	専門家の雇用・派遣	○		
	事務所の提供		○	
	事務員派遣		○	
	事務費		○	
オペレーター講習	設備投資	○		
	実施費用			○
計測会社	紹介	○		

相談業務の専門家の選定及び給与の支給は、公平中立な任務の実施を保証するために政府機関によってなされるべきである。専門家の出身母体としては、政府の研究機関、技術系大学、ボイラー納入業者が考えられる。その他の要員および事務所は、受益者側とりわけ業界横断的な協会から提供されるべきである。それは受益者側がボイラー使用に密接に関わっていることと、汚染者負担の原則にかなうからである。講習のための設備投資は、本調査の一環として主に IMP によって既になされている。しかし講習の実施費用は、要員および事務所の提供と同様の原則に沿って、受講企業が負担するのが自然である。適正な受講費用は、準備と実施の正味費用として、人件費、材料・光熱費、その他の調整費用などをもとに決められる。

6.2.2 企業内自主監視組織の確立

(1) 排ガス組成の自主監視の必要性

ボイラー所有者にとって排ガスの質の実態を知ることは、正常運転を保持するためのみならず、排出規制で指定された項目に関する定期的な運転記録を INE に提出するためにも必要である。燃料流量、給水流量、排ガスの温度、流量および酸素濃度等の燃焼管理因子を、オペレータ自身が日常の運転手順の一部として測定する必要がある。これらの因子は、安全で効果的な運転に非常に大切なので、計器を備え付けるべきである。

計測はあらゆる種類の管理の出発点であるから、ボイラー所有者は計器と計測技術の取得が要求される。しかし現状では、発電所のように設備の整ったボイラーユニット以外では、たいていの企業が計測を他社に委託するのは止むを得ない。それゆえ自主監視組織の設立は長期にわたる課題となる。計器への投資費用は、燃料の効率的使用によって回収し得るので、政府による支援策の対象とは一般には考えられない。

(2) 自主監視組織の求められる機能

自主監視組織の役割は、排ガス組成が排出基準に適合するかどうか検査することである。監視の結果は運転条件の調節に応用されるほか、必要ならば燃焼設備の改造に応用される。結果はまた、定期的にINEに提出を義務づけられた公式報告の基礎データともなる。

監視組織の長は、排出基準への適合を優先するような運転操作を行う権限を持たねばならない。一般的に言って生産ラインで最も力のあるのは、会社の所有者に代わってその工場を代表する工場長である。それ故、工場長が自主監視組織の長にふさわしい人物である。

監視の実務を行うには、排ガス組成の計測と汚染削減対策の両方にまたがる有資格専門家が必要である。これらの専門家は「汚染対策技師」とも呼ぶべき職分であり、工場における汚染対策の全局面を担当する。汚染規制によって指定された大気汚染源設備を運転する事業場（規制対象事業場）に対する、汚染対策技師配置の需要に応えるために、権威ある免許制度が必要である。

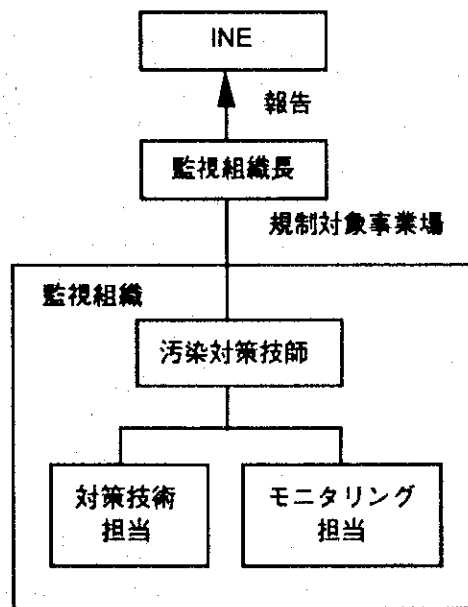


図6.2.2 企業内自主監視組織案

監視組織を構成するこれらの専門家によって担われる職務内容は次のように想定される。

1) 監視組織長の職務

大気汚染防止のために必要な業務が適切かつ円滑に実施されるような措置を講じ、かつ、その実施状況を監督する。担当する業務は次の3項目であり、これを汚染対策技

師を使って適切に実施させ、またその実施に必要な資金措置を講ずる。

- a. 大気汚染設備の使用方法的監視ならびに発生するばい煙を処理するための設備の維持及び使用に関すること。
- b. 大気汚染設備から大気中に排出されるばい煙の量の測定及び記録に関すること。
- c. 大気汚染設備の事故発生時の措置及び緊急時の措置に関すること。

2) 汚染対策技師の職務

監視組織長の指揮統括の下で、専門的技術内容にわたる汚染防止業務を行う。担当業務は次の7項目である。

- a. 使用する燃料または原材料の検査
- b. 大気汚染設備の点検
- c. ばい煙を処理するための設備の操作、点検、補修
- d. ばい煙量、ばい煙濃度の測定及び結果の記録
- e. 計測機器の点検、補修
- f. 事故発生時における応急処置の実施
- g. 緊急時におけるばい煙量、ばい煙濃度の削減、大気汚染設備の使用制限など必要な措置の実施

民間企業の監視組織を行政的に管轄するのはINEであるが、監視組織が普及するにつれ数が多くなって管理の負担が大きくなっていく。したがって監視組織の管轄は政府の地方組織へ移行してゆくのが合理的な方向である。その場合の地方機関の職務は次の3項目から成るものと考えられる。

- a. 監視組織長、汚染対策技師の登録を義務とし、その届け出を受け付ける。
- b. 上記の責任者が大気汚染防止に係る法規制に違反した場合に、その者の解任を命令する。
- c. 指定された大気汚染設備を運転する事業者に対し、上記の責任者の職務実施状況を報告させ、必要な場合には事業場への立入り検査を行う。

(3) 日本の経験

日本では、工場における環境汚染防止制度を発展させるために、特定工場における公害防止組織の整備に関する法律が1971年に制定された。この法律で特定された工場は、免許を受けた汚染対策技師（日本では公害防止管理者）を配置する義務を負う。1993年3月時点で総数約2万社の特定工場が、約4万人の免許を持った公害防止管理者を自主監視組織の長として政府に登録していた。

登録された公害防止管理者のほかに約43万人が免許を受け、工場における自主監視組織のメンバーとして汚染対策に従事してきた。公害防止管理者の要件は、基本的に通産省の行う資格試験に合格することである。

この法の定める公害防止管理者の専門分野は、大気汚染、水質汚濁、騒音・振動である。大気汚染分野の応募者に対する資格試験の試験項目は、下記の四件である。

- 1) 汚染対策の法制
- 2) 大気汚染の理論
- 3) 排出抑制技術
- 4) 煙道ガス測定

公害防止管理者の免許は、通産省の特別の指定を受けた政府系教育機関の行う講習の修了者にも与えられる。工業部門の努力によって、毎年約3,000件の公害或いはその他の環境汚染に関連した起訴事件の発生している中で、大気汚染防止法違反で起訴される事件はここ数年来皆無であった。

6.2.3 固定発生源用の信頼できる測定サービスの確立

(1) 固定発生源への信頼できる計測サービスの必要性

前節で述べた企業内自主監視組織を確立することは望ましいことではあるが、普及には時間もかかり、また小規模工場を含めた全体に適用するのは難しい面もある。そこで企業内自主監視組織の機能のうち排ガス計測を外部に委託することによって、上記制度を補完してゆくことが現実的な対応となる。

現在、主要な固定発生源からのNO_x排出の法的監視は、PROFEPAによってINEに提出された報告の審査および個別企業への立ち入り検査の形で行われている。PROFEPAの行う監視活動で扱う分野は、大気汚染物質の排出のみではなく、公共用水域への汚染物質の排出や有害な廃棄物及び材料の管理をも含む。そのため、PROFEPAが短時間の監視によって実際の大気汚染物質の排出状況を詳しく知ることは、目に見える煙やその他の明らかな汚染の兆候が無い限り難しいと思われる。また、立ち入り検査は間欠的にしか行えないため、判定が立ち入り当日に観察された偶発的な状況をもとになされる。

こうしたPROFEPAの監視の限界の解決策として、次の二つの代替案が考えられる。即ち、PROFEPAの能力を拡大して全ての排出規制対象に対処できるようにするか、PROFEPAの能力を超える正確な監視の需要を他の手段によって充足するかの何れかである。代替案の前者は、現在メキシコ政府の組織改革の中で構想されているPROFEPA機能の地方分散に逆行する。従って、代替案の后者を本節の検討対象とする。

公的な監視制度を適切に機能させるために、個々の企業は自らのNO_x排出状況を継続的に把握しておく必要がある。自主監視の方法は次の二種類に分けられる。一つは自社の人材及び器材で行う方法であり、大企業向きの方法である。他方は企業の負担で外部の専門家が行う方法で、中小企業向きの方法である。もし有能な計測会社に妥当な価格で委託できれば、プラントの所有者が自前の監視要員と器材を準備するための

時間の節約をもたらす。上記計測会社は、次の二つのサービスの提供を期待される。

- 1) 公的検査に応ずる定期監視報告の作成
- 2) 日常の運転管理向けの情報提供

こうした機能を果たすには、計測会社が質的に満足な水準に達していなければならない、責任ある機関の認証が必要である。この点で、計測サービスの水準は現在十分とは言えない。信頼できる計測サービスシステムを設立するためには、図6.2.3及び以下の節(2)、(3)及び(4)に記述する要素システムを開発することが不可欠である。

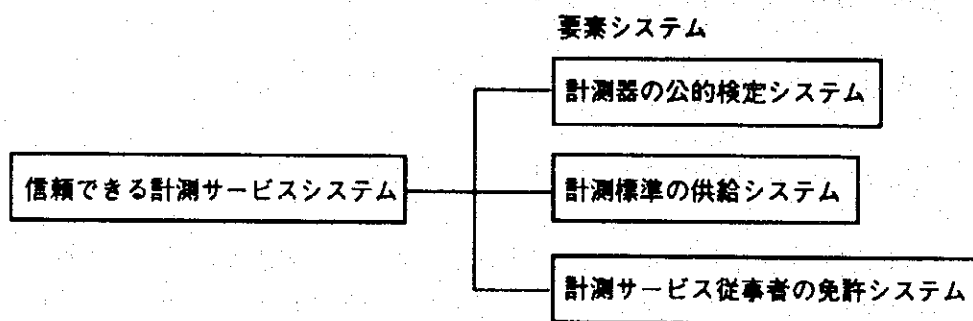


図6.2.3 信頼できる計測サービスの要素システムの提案

(2) 計器の公的検定制度

信頼できる計測器は、信頼できる計測の不可欠の要素であり、信頼できる計測器とは、公的な権威を持つ機関によって正確さを保証された計測器を指す。

排出基準は、規制対象物質の濃度決定法を規定しているが、計器の要件を明確には述べていない。すなわち、規制される汚染物質と排ガスの状態を示す因子それぞれに対する公認の計測方法は指定されているものの、その方法に使われる計器の詳しい定義は明文化されていない。指示値の真値からの許容偏差、法的に有効な校正方法とその権威ある執行機関などは、計測の信頼性を保証する根本的な事項である。これらの基本事項の権威づけは、信頼できる計測サービスの不可欠の要素である。公的検定制度は、次のような構成要素を決定することによって形成される。

- 1) 責任機関とその地方支部
- 2) 検定対象計器
- 3) 検定方法と許容公差
- 4) 検定有効期間と検定済みの標示
- 5) 関連法で規定された商行為における検定を受けていない計器の使用禁止

計器検定の責任機関は、検定を自身で行うか、その地方支部に検定を委託するかを求められる。要求機能から見てその機関は、計器及び関連装置の検定実施能力を持たな

なければならない。計量と標準化に関する法律によって、SECOFIの下の国家計量センター（CENAM）が国家校正システムの一次ラボとして指定されている。国家計量センターの権限との関連では、前述の5構成要素は基本的に法に規定されているが、まだ観念的であり一層具体的な規定が必要である。

実際にこのシステムに関する権限は、SECOFIの下の連邦消費者検察庁（PROFECO）に移管されている。システム作りの第一歩として、検定を受けるべき計測器のリストが目下PROFECO主導で検討されており、早ければ1995年の夏にその結果の一部が公表される見通しである。システムの他の部分は、その後引き続いて決定されることになっている。

(3) 計測標準の供給システム

計測の信頼性を確保するための一つの要素としてトレーサビリティがある。これは「測定結果が、一般的に国際または国家標準のような適切な標準に対して切れ目の無い比較の連鎖によって関連づけられるという性質」と定義されるもので、計測に関する国際関係上の基本用語である。トレーサビリティは、計測標準を国中に供給するシステムを設立することによって実現する。計測標準の供給システムは一般的に質量及び計測の原器、計器の検定制度および標準物質の供給制度などからなる。メキシコにおける質量及び計測の原器の体系は既に確立されており、検定制度の設立は前節すでに述べた。よって、標準物質の供給制度がここでの論点となる。

標準物質とは、その物質の状態に関わる量を示す特定の値を与えるもので、それを使った計測の指示値によって計器の誤差を確認するために使う特殊な物質である。排ガス測定用の標準物質は、標準ガス、pH標準液及びその他の標準液である。

もしすべての標準物質が国家の最高校正機関すなわち国家計量センターから供給されるのであれば、それがトレーサビリティを確保する最も確実な方法である。しかし通常は単一の団体ですべての標準物質の需要に応ずるのは難しい。そこで国家最高校正機関の機能を一部分下位の機関に委任し、正確さも信頼性も損なうこと無く標準物質の標定を行うべきである。この下位機関は認可校正センターと呼ぶべきものである。

標準物質は、一次標準と二次標準とに分けられる。一次標準は、国家最高校正機関で値つけがなされ、二次標準の評価に使われる。二次標準は、認可校正センターにより標準物質の評価に使われる。トレーサビリティ確保のためには、標準物質としての製品を権威ある機関によって検定することが必要である。この権威ある校正機関の階層構造が、国内における計測のトレーサビリティを築く基礎と考えられる。

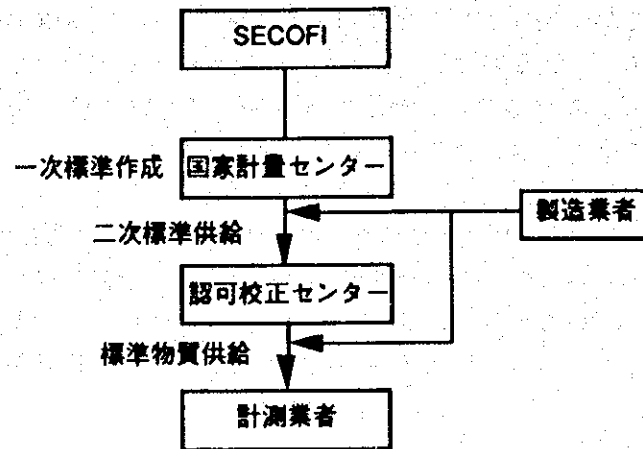


図6.2.4 計測用標準物質供給システム案

標準物質供給システムの設立と運営の実施主体は、国家計量センターの材料局であり、1994年4月29日にケレタロに設けられたばかりである。国家計量センターがつくろうとしている権威ある校正の階層的つながりは、図6.2.4に示したものと同様である。同センターによれば、「認可校正センター」は「二次ラボラトリー」と位置づけられ、その機能は国家校正システムという公的機関が担う。また、「計測業者」は、公認の試験ラボと検定ユニットから成る。

大気環境分析用の標準物質に関しては、米国の国家計量技術研究所（NIST）で標定された輸入標準物質が一次標準として使用されてきた。この一次標準は、国中の自動車検査センターに備えられた排ガス分析装置の検定に使われている。CENAMとしてはガス分析用の二次標準をまだ供給できないので、かわりにリンデ社の製品の使用を推奨しており、同社による標定を信用することとしている。しかし、1996年からは、ガス分析用の二次標準の供給を自力で行うことを目指しており、1998年には一次標準の自力製造を開始したい意向である。

(4) 計測サービス会社及び個人の免許制度

計量と標準化に関する法律には、他人に対して正確かつ公平な計測を行う二種類の主体が規定されている。一つは認定ラボであり、他は検定ユニットである。これらの組織は、それぞれの任務を遂行するにふさわしい十分な能力を持つことを条件に、SECOFIによって認可されている。要求される認可の条件は、設備、内部の実施組織、有資格者である。

これらの認可組織の指定された任務は、製造事業場に対して国家標準化プログラムとの関連から、製造工程、製品、サービス、生産ラインなどの評価サービスを提供することにある。この規定されたサービスは、排出基準適合のチェックとしての排ガス組成の試験も含むものと考えられる。

二種類のSECOFIの認可団体は、監視のための計測会社の役割を果たす可能性を秘め

ている。しかし、SECOFIの認可と排ガス監視のためのINEへの登録とは、今のところ実質的に相互の関連がない。排出規制の指示する公的監視のための排ガス測定は、計測に関するメキシコ公式基準に則って行うべきものとされている。その測定を行うものについての特別の規定は無く、その結果、排ガス測定の有資格会社の実際の登録は、INEによって SECOFI の認可制度とは別途に行われている。

SECOFIによる認可団体の数は、環境分野の認定ラボまたは検定ユニットとしては未だに少なく、INEの管轄する計測需要には応えられない。そこで、INEに関連する分野での認可団体を増やすこと、また、INEの計測会社登録制度をSECOFIの認可制度と連動させることを提案する。

もう一つの計測会社の免許制度に関する提案は、計測活動を技術面で指揮する主任技術者の特別な資格制度を創設することである。計測主任技術者に求められる技能と知識は次の通りである。

- 1) 大気汚染の防止と管理の分野における「生態平衡と環境保全に関する一般法」及びこれに従属する諸規定の知識
- 2) 「計量と標準化の連邦法」及びこれに従属する諸規定の知識
- 3) 大気汚染物質の定量分析に関する知識と実務経験
- 4) 校正システムと誤差理論に関する知識

計測サービスを行おうとする会社にはすべて、計測グループの長としての上記の能力を備えた免許技師を任命する義務をもたせることを提案する。この免許制度の管轄機関は、一般原則を定め、計測主任技術者の試験と免許の授与を行う。期待される機能から見て現状では、各種政府機関の中で SINALP が新しい免許制度の管轄機関となることが適切と考えられる。

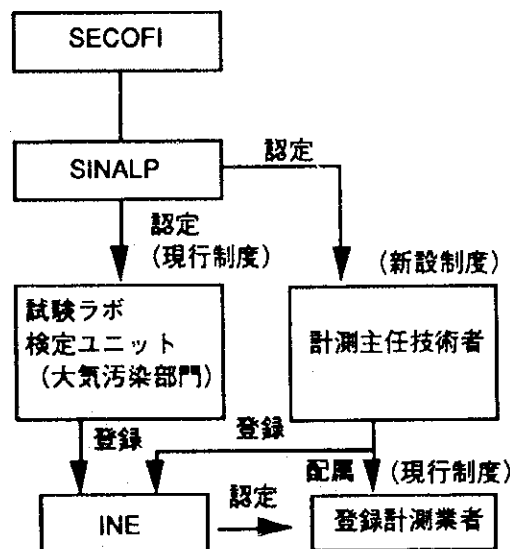


図 6.2.5 計測サービス会社・個人の免許制度案

